



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KURAK KOŞULLARDA NİTRİK OKSİT
UYGULAMASININ AYÇİÇEĞİ BİTKİSİNİN
GELİŞİMİ VE TOLARANS MEKANİZMASI
ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Aidana SUGİRBEKOVA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Eylül-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Aidana SUGİRBEKOVA tarafından hazırlanan “**Kurak Koşullarda Nitrik Oksit Uygulamasının Ayçiçeği Bitkisinin Gelişimi Ve Tolarans Mekanizması Üzerine Etkisinin Belirlenmesi**” adlı tez çalışması 19/09/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Toprak Bilimi ve Bitki Besleme** Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

.....

Danışman

.....

Üye

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait GEZGİN
FBE Müdürü

Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Aidana SUGİRBEKOVA

Tarih: 19/09/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KURAK KOŞULLARDA NİTRİK OKSİT UYGULAMASININ AYÇİÇEĞİ BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE TOLARANS MEKANİZMASI ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Aidana SUGİRBEKOVA

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Mehmet HAMURCU

2022, 77 Sayfa

Jüri

Prof.Dr. Mehmet HAMURCU
Prof.Dr. Ceyda ÖZFİDAN KONAKÇI
Dr.Öğr.Üyesi Fatma GÖKMEN YILMAZ

Bu çalışmada ticari hat olan İrtiş ve Zarya, saf hat olan RAR 56 ve RAR 133 ayçiçeği genotipleri kullanılmıştır. Ayçiçeği genotiplerinin kuraklık stresi toleransları üzerine, nitrik oksit (NO) uygulamasının etkilerinin araştırıldığı çalışmada, kuraklık stresi oluşturmak amacıyla 3-yapraklı evrede bulunan bitkilere Hoagland besin solüsyonu içinde 8 gün boyunca %12 PEG 6000 ve NO donoru olarak 100 µM sodyum nitroprussid (SNP) uygulanmıştır.

Ayçiçeği genotiplerinin kuraklık stresi tepkileri üzerine NO'nun etkilerini ortaya koymak amacıyla kök ve gövde boyu ile yaş ve kuru ağırlık gibi temel büyüme parametreleri, yaprak bağıl su içeriği, prolin birikimi, elektrolit sızıntısı, malondialdehit (MDA), süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POX) ve glutatyon redüktaz (GR) gibi antioksidan enzim aktivitelerindeki değişimler, hidroksil radikalinin ($\cdot\text{OH}$) süpürülme aktivite değerleri ve hidrojen peroksit (H_2O_2) içerikleri incelenmiştir. Ayrıca, kuraklık ve NO uygulamalarına bağlı olarak, bitkilerin gövdelerindeki besin elementi durumlarında meydana gelen değişimler K, Mg, Ca ve Na içeriklerinin analiz edilmesiyle belirlenmiştir. Kurak koşullara bağlı olarak her dört ayçiçeği genotipinin kök ve gövde boyu ile yaş ve kuru ağırlık değerlerinde meydana gelen azalmalar ticari hatlarda saf hatlara göre daha fazla oranlarda olduğu tespit edilmiştir. NO uygulaması ayçiçeği genotiplerinin temel büyüme parametreleri üzerinde kurak koşulların neden olduğu azalmalara karşı iyileştirici etki göstermiştir. Kurak koşullardan kaynaklı her dört ayçiçeği genotipinin bağıl su içeriği değerlerinde kontrole göre azalmalar gerçekleşmiş ve nitrik oksitin bu azalmaları engellediği görülmüştür.

Kurak koşullar altında en yüksek oranda prolin birikimi ticari hat İrtiş genotipinde olduğu görülmüş ve bu meydana gelen artışlar üzerinde NO'nun azaltıcı etkisinin bulunduğu belirlenmiştir. Kurak koşulların sebep olduğu oksidatif hasarlara bağlı lipid peroksidasyonunun bir göstergesi olan MDA içeriğinin ayçiçeği genotiplerinde artış gösterdiği ve en fazla artış ticari hat Zarya genotipinde olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullarda NO uygulamasıyla her dört genotipin MDA düzeyinde kurak koşullara göre azalmalar gerçekleşmiştir. Ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 133 genotiplerinin elektrolit sızıntısı değerlerinde kurak koşullar artışlara neden olmuş ancak NO uygulamasının bu artışlara karşı koruyucu etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Ayçiçeği genotiplerinin CAT enzim aktivitesinde kurak koşullara bağlı azalmalar meydana gelmiştir ve bu azalmaların NO uygulamasıyla artış gösterdiği belirlenmiştir. CAT aktivite değerleri NO uygulamasıyla kontrole göre ticari hatlarda daha fazla artış gösterirken, kurak koşullara göre saf hatlarda daha fazla artış göstermiştir. Kurak koşullar altında her dört ayçiçeği genotipinin POX aktivite değerleri artışlar sergilemiş ve NO uygulaması kontrol ve kurak koşullara kıyasla POX aktivite değerlerinde daha fazla artışlara neden olmuştur ve en yüksek artış saf hat RAR 56 genotipinde tespit edilmiştir. SOD enzim

aktivite değerleri kurak koşullarda artışlar göstermiştir ve en yüksek artış ticari hat Zarya genotipinde görölmüştür. NO uygulamasının kurak koşullardan kaynaklı oluşan artışları azalttığı tespit edilmiştir. Ayçiçeği genotiplerinin GR aktivite değerleri kuraklık stresine bağlı azalmalar gösterdiği tespit edilmiş ve saf hatlara göre ticari hatlarda daha fazla oranlarda azalmalar meydana gelmiştir.

Kurak koşullarda ayçiçeği genotiplerinin gövde K, Mg, Ca ve Na içeriklerinde azalmalar meydana gelmiş ancak NO uygulamasının bu azalışı engellediği tespit edilmiştir.

Her dört ayçiçeği genotipinin hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikalleri ($\cdot OH$) içeriklerinde kurak koşullara bağlı artışlar olduğu görölmüş ve en yüksek artış saf hat RAR 133 genotipine ait bulunmuştur. Ancak, NO uygulaması radikallerin içeriklerinde oluşan artışlara karşı azaltıcı etki göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayçiçeği, antioksidan enzimler, kuraklık stresi, nitrik oksit



ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF THE EFFECT OF NITRIC OXIDE APPLICATION ON THE DEVELOPMENT AND TOLERANCE MECHANISM OF SUNFLOWER PLANT IN ARID CONDITIONS

Aidana SUGIRBEKOVA

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN DEPARTMENT OF SOIL
SCIENCE AND PLANT NUTRITION**

Advisor: Prof.Dr. Mehmet HAMURCU

2022, 77 Pages

Jury

**Prof.Dr. Mehmet HAMURCU
Prof.Dr. Ceyda ÖZFİDAN KONAKÇI
Assoc.Prof. Fatma GÖKMEN YILMAZ**

In this study, commercial sunflower genotypes İrtiş and Zarya, pure sunflower genotypes RAR 56 and RAR 133 were used. The effect of nitric oxide (NO) treatment on drought tolerance of four sunflower genotypes was investigated by treating plants with 12% PEG 6000 in Hoagland solution for eight days. 100 µM sodium nitroprusside (SNP) was used as NO donor.

Growth parameters (lengths, fresh and dry weights of shoots and roots), leaf relative water content (RWC), proline accumulation, electrolyte leakage, malondialdehyde (MDA) content, H₂O₂ accumulation, ·OH scavenging activity were measured and superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POX) and glutathione reductase (GR) activities were assayed to reveal the effects of NO treatment on drought tolerance of sunflower genotypes. Furthermore, K, Mg, Ca and Na contents in shoots were also detected.

The highest rate of proline accumulation under drought stress occurred in the commercial line İrtiş genotype and it was determined that NO had a reducing effect on these increases. MDA content, which is an indicator of lipid peroxidation due to oxidative damage caused by drought stress, increased in sunflower genotypes and the highest increase was found in the commercial line Zarya genotype. With the application of NO under drought stress, decreases were realized at the MDA level of all four genotypes according to drought stress. Drought stress caused increases in electrolyte leakage values of commercial line İrtiş and pure line RAR 133 genotypes, and NO application showed a protective effect against these increases.

The decreases in CAT enzyme activity of sunflower genotypes occurred due to drought stress. It was determined that these decreases increased with the application of NO. CAT activity values showed a greater increase in commercial lines compared to control with NO application, while they showed a greater increment in pure lines compared to drought stress. The increases in POX activity values of all four sunflower genotypes exhibited under drought stress, and NO application caused a greater increase in POX activity values compared to control and drought stress, and the highest increase was detected in the pure line RAR 56 genotype. The SOD enzyme activity values showed increases under drought stress and the highest increase was observed in the commercial line Zarya genotype. It has been found that the application of NO reduces the increases caused by drought stress. The GR activity values of sunflower

genotypes showed decreases due to drought stress and decreases occurred at higher rates in commercial lines compared to pure lines.

Decreases in K, Mg, Ca and Na contents of sunflower genotypes occurred under drought stress and it was found that NO application prevented these decreases.

Increases in hydrogen peroxide (H_2O_2) and hydroxyl radicals ($\cdot OH$) content of all four sunflower genotypes occurred due to drought stress and the highest increase was found to belong to the pure line RAR 133 genotype. The application of NO has shown a reducing effect against the increases in the content of radicals.

Keywords: Antioxidant enzymes, drought stress, nitric oxide, sunflower



ÖNSÖZ

Öncelikte bana bu tez çalışmasının her noktasında bilgi, deneyim ve desteğini esirgemeyen, eğitim ve çalışma hayatıma kattığı eşsiz değerleri için Sayın Hocam Prof. Dr. Mehmet HAMURCU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam kapsamında kurulan denemelerin yürütülmesinde ve analizlerin yapılması aşamasında yardımları için sevgili meslektaşlarım Zeynep Zuhal Avşaroğlu, Hümeysra Omay ve Fevzi Elbasan'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın her aşamasında destekleriyle beni motive eden dualarını ve güzel dileklerini benden esirgemeyen ve her zaman bana destek olan, sonsuz sabır ve anlayışları için öncelikle sevgili aileme, her durumda yanımda olup destekleyen canım arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Aidana SUGİRBEKOVA
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
RESİM LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Kuraklık Stresi	3
2.2. NO'in Bitki Büyüme ve Gelişmesine Etkileri	6
2.2.1. NO'in Kimyasal Özellikleri ve Metabolizması	7
2.3. Kuraklık ve NO Uygulamaları.....	8
2.4. Ayçiçeği (<i>Helianthus annuus</i> L.) Kaynak Araştırması.....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Materyal	16
3.1.1. Bitki Materyallerinin Temini	16
3.2. Metot.....	16
3.2.1. Gelişme Koşulları	16
3.2.2. Ön deneme	17
3.2.3. Deneme Serilerinin Hazırlanması.....	18
3.2.4. Tohum Ekimi	19
3.3. Bitki Örneklerinde Fizyolojik Analizler	20
3.3.1. Büyüme Parametreleri	20
3.3.2. Bitki örneklerinde K, Mg, Ca ve Na analizi	20
3.3.3. Bağlı Su İçeriği	21
3.3.4. Prolin İçeriğinin Belirlenmesi.....	21
3.3.5. Hücre Zarı Geçirgenliğinin (Elektrolit Sızıntısı) Belirlenmesi.....	22
3.3.6. Lipit Peroksidasyonun Belirlenmesi	22
3.3.7. Reaktif oksijen türlerinin (ROT) analizi	22
3.4. Biyokimyasal Parametrelerin Ölçümü.....	23
3.4.1. Enzim Ekstraktlarının Hazırlanması	23
3.4.2. Antioksidan Enzim Aktivite Analizleri	23
3.4.2.1. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi.....	23
3.4.2.2. Peroksidaz (POX) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi	24

3.4.2.3. Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi.....	24
3.4.2.4. Glutasyon Redüktaz (GR) Enziminin Aktivite Tayini.....	24
3.5. Verilerin İstatistiksel Analizi	24
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	25
4.1 Büyüme Parametreleri Bulguları	26
4.1.1. Gövde ve Kök Yaş Ağırlığı	26
4.1.2. Gövde ve Kök Kuru Ağırlığı	29
4.1.2. Gövde ve Kök Boyu	31
4.2. K, Mg, Ca ve Na Konsantrasyonu Bulguları	36
4.2.1. Gövde K Konsantrasyonu	36
4.2.2. Gövde Mg Konsantrasyonu	37
4.2.3. Gövde Ca Konsantrasyonu	39
4.2.4. Gövde Na Konsantrasyonu	41
4.3. Bağlı Su İçeriği	43
4.4. Prolin Değerleri.....	45
4.5. Elektrolit Sızıntısı Değerleri	47
4.6. Lipid Peroksidasyonu (MDA) Miktarları	49
4.7. Reaktif Oksijen Türlerinin (ROT) Analiz Sonuçları	52
4.7.1. Hidroksil Radikal ($\cdot\text{OH}$) Süpürülme Aktivite Değerleri	52
4.7.2. Hidrojen Peroksit (H_2O_2) İçerikleri	53
4.8. Antioksidan Enzim Aktivite Sonuçları	55
4.8.1. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktiviteleri	55
4.8.2. Peroksidaz (POX) Enzim Aktiviteleri	57
4.8.3. Katalaz (CAT) Enzim Aktiviteleri.....	59
4.8.4. Glutasyon Redüktaz (GR) Enzim Aktiviteleri	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	78

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde yaş ağırlığı değerleri (g bitki ⁻¹).....	27
Çizelge 4.2. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök yaş ağırlığı değerleri (g bitki ⁻¹).....	28
Çizelge 4.3. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde kuru ağırlığı değerleri (g bitki ⁻¹).....	29
Çizelge 4.4. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök kuru ağırlığı değerleri (g bitki ⁻¹).....	31
Çizelge 4.5. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde boyu değerleri (cm).....	32
Çizelge 4.6. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök boyu değerleri (cm).....	33
Çizelge 4.7. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde K konsantrasyonu (%).....	36
Çizelge 4.8. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde Mg konsantrasyonu (%).....	38
Çizelge 4.9. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde Ca konsantrasyonu (%).....	40
Çizelge 4.10. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde Na konsantrasyonu (%).....	41
Çizelge 4.11. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin bağıl su içeriği (%).....	44
Çizelge 4.12. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin prolin değerleri (nmol g ⁻¹ YA).....	46
Çizelge 4.13. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin elektrolit sızıntısı değerleri (%).....	48
Çizelge 4.14. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin lipid peroksidasyonu miktarları (nmol g ⁻¹ YA).....	50
Çizelge 4.15. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin hidroksil radikal (\cdot OH) süpürülme aktivite değerleri (%).....	52
Çizelge 4.16. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) içerikleri (ug mL ⁻¹).....	54
Çizelge 4.17. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin SOD aktiviteleri (Ünite mg ⁻¹ protein).....	56
Çizelge 4.18. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin POX aktiviteleri (Ünite mg ⁻¹ protein).....	58
Çizelge 4.19. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin CAT aktiviteleri (Ünite mg ⁻¹ protein).....	60
Çizelge 4.20. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin GR aktiviteleri (Ünite mg ⁻¹ protein).....	62

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1. Deneme planı.....	18
Çizelge 4.1. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde yaş ağırlığı değerleri (g bitki ⁻¹).....	27
Çizelge 4.2. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök yaş ağırlığı değerleri (g bitki ⁻¹).....	28
Çizelge 4.3. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde kuru ağırlığı değerleri (g bitki ⁻¹).....	30
Çizelge 4.4. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök kuru ağırlığı değerleri (g bitki ⁻¹).....	31
Çizelge 4.5. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde boyu değerleri (cm).....	32
Çizelge 4.6. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök boyu değerleri (cm).....	34
Çizelge 4.7. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde K konsantrasyonu (%).....	37
Çizelge 4.8. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde Mg konsantrasyonu (%).....	38
Çizelge 4.9. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde Ca konsantrasyonu (%).....	40
Çizelge 4.10. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde Na konsantrasyonu (%).....	42
Çizelge 4.11. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin bağıl su içeriği (%).....	44
Çizelge 4.12. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin prolin değerleri (nmol g ⁻¹ YA).....	46
Çizelge 4.13. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin elektrolit sızıntısı değerleri (%).....	48
Çizelge 4.14. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin lipid peroksidasyonu miktarları (nmol g ⁻¹ YA).....	50
Çizelge 4.15. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin hidroksil radikal (\cdot OH) süpürülme aktivite değerleri (%).....	53
Çizelge 4.16. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) içerikleri (ug mL ⁻¹).....	54
Çizelge 4.17. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin SOD aktiviteleri (Ünite mg ⁻¹ protein).....	56
Çizelge 4.18. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin POX aktiviteleri (Ünite mg ⁻¹ protein).....	58
Çizelge 4.19. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin CAT aktiviteleri (Ünite mg ⁻¹ protein).....	60
Çizelge 4.20. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin GR aktiviteleri (Ünite mg ⁻¹ protein).....	62

RESİM LİSTESİ

Resim 3.1. İklim odasında yetiştirilen ayçiçeği genotipleri.....	17
Resim 3.2. Çalışmada yetiştirilen ayçiçeği genotiplerinin ön deneme resimleri.....	17
Resim 3.3. Ön denemede seçilen, a – kuraklığa dayanıklı ticari hat İrtiş, b – kuraklığa dayanıklı saf hat RAR 56, c – kuraklığa hassas ticari hat Zarya, d – kuraklığa hassas saf hat RAR 133 genotiplerine ait resimler.....	18
Resim 3.4. Çalışmada yetiştirilen ayçiçeği genotiplerinin çimlendirme resimleri.....	19
Resim 4.1. a – İrtiş, b – Zarya, c – RAR 56, d – RAR 133 genotiplerine ait hasat sonrası resimler.....	25



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	Yüzde
µM	Mikromolar
cm	Santimetre
da	Dekar
g	Gram
kDa	Kilo Dalton
L	Litre
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimolar
nm	Nanometre
°C	Santigrat Derece
ppm	Milyonda Bir Değer

Kısaltmalar

¹ O ₂	Singlet oksijen
·OH	Hidroksil radikali
CK	Sitokinin
CAT	Katalaz
CO ₂	Karbondioksit
DHA	Dehidroaskorbik asit
DNA	Deoksiribo nükleik asit
ER	Endoplazmik retikulum
ES	Elektrolit sızıntısı
ET	Etilen
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
GA	Giberellik asit
GB	Glisin betain
GPOX	Glutasyon peroksidaz
GR	Glutasyon redüktaz
GSH	Glutasyon
GSNO	S-nitroglutasyon
GSSG	Okside glutasyon
GST	Glutasyon S-transferaz
H ₂ O ₂	Hidrojen peroksit
HZG	Hücre zarı geçirgenliği
İCP-AES	Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer
JA	Jasmonik asit
LOX	Lipoksigenaz
LSD	Lowest Standart Deviations
MDA	Malondialdehit
MT	Melatonin
NADPH	Nikotinamid Adenin Dinükleotit Fosfat
NR	Nitrat redüktaz
NO	Nitrik oksit

NO ₂ ⁻	Nitrit
NOS	Nitrik oksit sentaz
PEG	Polietylenglikol
pH	Power of Hydrogen (Hidrojenin Gücü)
PVPP	Polyvinylpolyprolidone
POX	Peroksidaz
RNA	Ribonükleik asit
RWC	Bağıl su içeriği
ROT	Reaktif oksijen türleri
SİN-1	3-morfolinosydnonimin
SNP	Sodyum nitroprussid
SNAP	S-nitroso-n-asetil-penisilamin
SOD	Süperoksid dismutaz
TK	Toplam klorofil
UNCCD	Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi
XOR	Ksantin oksidoredüktaz
ABA	Absisik asit
APX	Askorbat peroksidaz
AsA	Askorbik asit
ATP	Adenozin trifosfat
O ₂	Oksijen
O ₂ ⁻	Süperoksid radikali

1. GİRİŞ

Bitkiler, doğal ve tarımsal koşullar altında büyüme ve gelişme sırasında çeşitli çevresel streslere maruz kalmaktadır. Bunlar arasında kuraklık, bitki verimliliğini etkileyen en ağır çevresel streslerden biridir. Bitki gövdesinin taze biyokütlesinin yaklaşık %80-95'i sudan oluşur ve bu da bitki büyümesi, gelişimi ve metabolizmasının birçok yönü de dahil olmak üzere çeşitli fizyolojik süreçlerde hayati bir rol oynamaktadır (Abbasi ve Abbasi, 2010; Brodersen ve ark., 2019). Tarımdaki kuraklığın etkileri, su kaynaklarının tükenmesi ve endişe verici bir dünya nüfus artışından kaynaklanan artan gıda talebi nedeniyle ağırlaşmaktadır (O'Connell, 2017). Kurak koşullar, bitki biyokütle üretimini, kalitesini ve enerjisini engelleyen sıcaklık dinamikleri, ışık yoğunluğu, düşük ve düzensiz yağış dağılımı, evapotranspirasyon ve rizosfer etrafındaki su tutma kapasitesine bağlı ortaya çıkan kaçınılmaz çevresel stres faktörü olarak tanımlanmaktadır (Passioura ve Angus, 2010; Hussain ve ark., 2018; DeVincentis, 2020; Seleiman ve ark., 2021).

Kuraklık, özellikle ekonomileri büyük ölçüde tarım sektörüne dayalı gelişmekte olan ülkelerde su mevcudiyeti, tarımsal üretim, gıda güvencesi ve kırsal geçim kaynaklarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Gürgülü, 2014; FAO, 2021a). Türkiye'de sıcaklığın yükselişi ve yağışın düşmesinden dolayı zamanla artış gösteren kurak koşullar, toprakta su ve rüzgâr erozyonu yaratarak tarımsal verim, suyun kalitesi, hayvan sağlığı ve onların doğal yaşam alanlarını tahrip ederek tehlike altında bırakmaktadır. Tüm bunlar gıda kıtlığı yaratmakta ve yaşam seviyesinde gerilemelere neden olmaktadır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021).

Tarımsal sanayi kompleksi gelişiminin modern aşamasının önemli görevlerinden biri, yüksek mahsul verimi elde etmektir. Son yıllarda bitkisel yağların tüketiminde bir artış olmuştur. Bunun nedeni, insan sağlığının korunmasına katkıda bulunan hayvansal yağlara karşı birtakım faydalarından kaynaklanmaktadır. Yağlı tohumların yetiştirilmesi, mahsul üretiminde en karlı alanlardan biridir ve üretimlerine olan ilgi her zaman yüksektir. Ayçiçeği bitkisi, tarım işletmelerinin ekonomisini güçlendirmede önemli bir rol oynayan en değerli ve en karlı mahsuller grubunda yer almaktadır (Yatsuk, 2018). Ayçiçeği, Türkiye'de ve Kazakistan'da en fazla ekim alanına ve üretim miktarına sahip önemli yağlı tohum bitkisidir. Bu ülkeler bitkisel yağ ihtiyacının büyük kısmını ayçiçeğinden elde etmektedir. Türkiye ve Kazakistan dışa bağımlı durumda olduğundan giderek artan önemli miktardaki yağ açığı, tohum ve ham yağ ithalatı

yoluyla karşılanmaktadır. Bu durum iki ülke genelinde yağlık ayçiçeği üretiminin desteklenmesini diğer ürünlere göre daha ayrıcalıklı hale getirmektedir. Türkiye ve Kazakistan genelinde yükselen sıcaklık ve azalan yağış miktarı nedeniyle kuraklık stresi her geçen gün daha fazla artış göstermektedir. Ayçiçeği bitkisi, kuraklık koşullarına dayanıklı bir bitki olmasına rağmen yeterince yağış düşmemesi sonucunda oluşan kuraklıktan dolayı dekardan alınan verimin düşmesiyle tohum ve yağ üretiminde azalma gerçekleşmektedir. Bu nedenle, sürdürülebilir ayçiçeği yağı ve yağ üretimini sağlamak için, kuraklığın fizyolojik, biyokimyasal, genetik ve tarımsal temelleri arasındaki ilişkiyi anlamak çok önemlidir. Bu nedenle artan nüfusumuzun gerek bitkisel yağ ihtiyacının karşılanması gerekse üreticilerimizin yüksek verim ve kalitede ürün alabilmesi için ayçiçeği yetiştiriciliği önemli yer tutmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar nitrik oksit (NO), çevresel streslere karşı bitki tepkilerinde önemli bir sinyal molekülü olduğunu ve özellikle bitkilerde kuraklık stresi gibi çevresel streslerin zararlı etkilerini hafifletebileceğini kanıtlamaktadır.

Bu tez çalışması kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen ayçiçeği genotiplerine NO uygulamasının kuraklık stresi toleransı üzerine potansiyel iyileştirici etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Ön deneme çalışmalarında Türkiye’de ve Kazakistan’da üretimi yapılan ticari ve yerel ayçiçeği genotiplerinde kuraklık taraması yapılmıştır. Bu tarama sonucunda ticari hatlardan İrtiş ve Zarya, saf hatlardan RAR 56 ve RAR 133 ayçiçeği genotipleri seçilmiştir. Daha sonra belirlenen ayçiçeği genotiplerine kontrol (Hoagland) ve kurak koşullarda nitrik oksit uygulamalarıyla bitkinin savunma mekanizmasında, büyüme ve gelişmesinde, fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlarında meydana getirdiği değişimlerin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ayçiçeği genotiplerinde temel büyüme parametreleri (gövde ve kök boyu, yaş ve kuru ağırlıkları) bağıl su içeriği, besin elementleri içeriği (K, Mg, Ca, Na), elektrolit sızıntısı, prolin miktarı ve MDA miktarındaki değişiklikler yardımıyla hücrel membranlardaki hasar oranı belirlenmiştir. Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POX), glutatyon redüktaz (GR) gibi antioksidan enzim aktiviteleri ve hidrojen peroksit (H₂O₂) ile hidroksil (\cdot OH) radikali süpürülme aktivitesinin belirlenmesiyle tolerans mekanizması üzerine etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kuraklık Stresi

Yıkıcı bir doğal ve çevresel tehlike olan kuraklık, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde yaşayanlar olmak üzere dünya nüfusunun önemli bir kısmına etki yapmaktadır. Son 40 yılda kurak koşullardan etkilenen alanlar iki katından fazla artmış ve aynı zaman diliminde kuraklık dünya çapında diğer tüm doğal afetlere göre insanlığı daha fazla etkilemektedir. İklim değişikliği gerçekten de dünyanın birçok yerinde kuraklığı şiddetlendirerek onun sıklığının, şiddetinin ve süresinin artmasına neden olmaktadır (FAO, 2021b).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü kuraklığı yağışların "normal" seviyesinin altına düşmesi olarak yorumlamaktadır. Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi'nde yer alan tanıma göre kuraklık, yağışların kaydedilen normal düzeylerin önemli ölçüde altına düşmesinden dolayı arazi ve kaynak üretim sistemlerini olumsuz olarak etkileyen ve ciddi hidrolojik dengesizliklere yol açan doğa olayı olarak tanımlanmaktadır (UNCCD, 1994; Dikici, 2014; Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021b).

Kuraklık stresi bitkinin büyüme ve gelişimini fizyolojik, biyokimyasal, moleküler ve ekolojik düzeyde olumsuz etkilemektedir (Ortiz ve ark., 2015; Antoniou ve ark., 2020). Kuraklık, kloroz ve nekroz belirtilerine neden olarak bitkilerin görünümünü bozar (Antoniou ve ark., 2020); primordia başlatma süresini uzatır; eksplant başına sürgün sayısını, sürgün uzunluğunu, yaprak sayısını, yaprak alanını (Chavoushi ve ark., 2020); meyve verimini ve bitki biyokütlesini azaltır (da Silva Leite ve ark., 2019). Bitkinin yeşil aksamının yanı sıra, kökler gibi yer altı aksamı da kuraklığa yanıt vererek kök uzunluğunu değiştirerek toprak neminin verimli bir şekilde alınmasını engeller (Pradhan ve ark., 2020). Kuraklık ilk önce toprağın daha sonra da bitkinin su potansiyelini azaltmaktadır. Su sıkıntısının oluşma döneminde turgor basıncında, yaprak büyümesinde ve fotosentez miktarında düşme meydana gelmektedir (Shakeel ve ark., 2011). Kuraklık stresine maruz kalmış bitkilerde su potansiyeli, su kullanım verimliliği ve hidrolik iletkenlik önemli ölçüde azalırken, yaprak damarlanma yoğunluğu artmakta, bu da su açığının yapraklardaki su taşınımını olumsuz etkilediğini göstermektedir (De Sousa ve ark., 2020).

Bitkiler strese cevap niteliğinde değişen çevre şartlarına uyum sağlayabilmek için adaptasyon mekanizmaları geliştirmektedir. Bunların yanında, kaynak

kullanımlarını azaltma ve büyümelerini ayarlama yeteneğine sahiptir (Osakabe ve ark., 2014; Bielach ve ark., 2017). Kuraklığa karşı direnç mekanizması, bitkinin türüne, genotipine, gelişme durumuna, yaşına, organ ile hücre tipine, su kaybı şiddetine ve uzunluğuna bağlı olarak değişim göstermektedir (Gray ve Brady, 2016).

Kurak koşulların ilerleyen safhalarında, bitki bünyesinde mekanik, metabolik, oksidatif hasarlar ortaya çıkmaktadır (Aksoy, 2008). Kuraklık stresinin mekanik etkisinde bitki hücrelerinde belirgin olarak su azalmasıyla öncelikle turgor kaybı gerçekleşmektedir. Bunun bir sonucu olarak membran yapısı değişikliğe uğrayarak su kaybı ile hücrenin hacmi azalır, hacim azalınca da membranlar hücre duvarından uzaklaşmaktadır (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2010).

Kuraklık stresinin metabolik etkisinde suyun yetersizliği ile normal metabolik faaliyetler devam ettirilememektedir. Çünkü su hücresel reaksiyonların büyük bir kısmında rol oynamaktadır. Bunun sonucunda bitki hücresinde iyon birikimi, enzimlerin çalışamaması, proteinlerin yapısının bozulması gibi hasarlar oluşmaktadır (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2010).

Kuraklık stresinin oksidatif etkisi bitkilerde hücrede plazma membranı, mitokondri, ER membranında üretilen serbest radikallerin (hidroksil, hidrojen peroksit, singlet oksijeni) oluşumuna yol açmaktadır. Serbest radikaller dış orbitallerindeki eşleşmemiş elektron nedeniyle kimyasal aktifliği yüksek moleküllerdir (Kadıoğlu, 2011).

Bitkiler herhangi bir stres faktörü ile karşı karşıya kaldıklarında fotosentetik karbon metabolizması ve elektron taşınım aktivitesi azalmaktadır. Suyun kısıtlı olduğu periyotlarda, vejetatif bitki dokularında oksidatif stresin en yaygın nedeni kloroplastta gerçekleşen ışık-klorofil etkileşimleridir (Farrant, 2000; Eker, 2002). Fizyolojik düzeyde, kuraklık stresi stoma iletkenliğini azaltır ve terleme hızını artırır (Faraji ve Sepehri, 2020). Su kısıtlı haldeyken, bitki daha fazla su kaybetmemek ve canlılığını sürdürebilmek için stomalarını daraltmaktadır veya kapatmaktadır (Osakabe ve ark., 2014). Bitki fotosentez oranı, açık stomalardan bitki yaprak dokusu içerisine alınan gaz formundaki CO₂ miktarıyla ilgilidir. Stomaların açık olması bitkinin terlemeyle su kaybetmesine yol açarak dengesiz bir terleme oranına ve yaprağın bağıl su içeriğinin (RWC) düşmesine neden olmaktadır (Sahay ve ark., 2019). Bundan dolayı, kurak koşullar oluştuğunda bitkiler, terleme ile su kaybını en aza indirmek amacıyla stomalarını hızlı bir şekilde kapatırlar. Böylece fotosentezin temel maddelerinden biri olan CO₂ girişi engellenmiş olmakta ve CO₂ fiksasyonu azalmaktadır. Buna bağlı

bitkilerin hayatta kalması için önemli bir biyolojik süreç olan fotosentez oranında bir düşüş gerçekleşmektedir. Bitki büyümesinde kullanılan karbonhidrat molekülleri ve enerji, fotosentezle üretildiği için, bu düşüş bitki büyüme ve gelişmesini de etkilemektedir (Silveira ve ark., 2019).

Biyokimyasal düzeyde kuraklık stresi, hücrel hasara yol açabilecek yüksek bir ROT seviyesine neden olmaktadır. Bitkiler gaz değişimini sınırlamak için stomalarını kapatırlar. Böylece fotosentez için absorbe edilen ışık enerjisi ve açığa çıkan elektronlar, yeterli CO₂ olmadığından ve bu nedenle CO₂ indirgenmesinde kullanılmadığından, kloroplastlarda biriktirilmekte ve moleküler O₂'nin aktivasyonunda kullanılmaktadır. Bu olumsuz koşullarda, fotosentetik kaynaklı elektronlar ve pigmentler tarafından absorbe edilmiş olan enerji, karbondioksit yerine moleküler oksijene aktarılmaktadır. Kloroplastlardaki azaltılmış karbondioksit seviyeleri NADP⁺ rejenerasyonunu azaltarak, süperoksit anyonları (O₂⁻) oluşturmak üzere yüksek elektron sızıntısına neden olur ve daha sonra toksik etkileri yüksek olan reaktif oksijen türlerinin (süperoksit radikali (O₂⁻), hidrojen peroksit (H₂O₂), hidroksil radikali (\cdot OH) ve tekli (singlet) oksijen (¹O₂)) birikimine yol açmaktadır (Verma ve ark., 2019).

Kurak koşullar şiddetli hale gelirse, kloroplastlarla ATP sentezinin hızındaki azalma mitokondriyal solunum hızını artırır ve sonuçta mitokondride daha fazla ROT sentezlenmesine neden olmaktadır (Verma ve ark., 2019). Bitkilerde kuraklık koşullarında lipid peroksidasyon seviyesi (MDA), lipoksijenaz aktivitesi (LOX), aldehit, prolin, sistein ve elektrolitlerin sızma seviyesi, hidrojen peroksit (H₂O₂) üretimi artmaktadır (Rezayian ve ark., 2020). Kuraklık stresi ayrıca RuBisCO, GAPDH ve fosforibulokinaz gibi bazı Calvin–Benson döngüsü enzimlerinin aktivitesini etkilediği bilinmektedir (Sahay ve ark., 2020).

Stres şartlarında üretilen zararlı oksijen bileşikleri, hücre metabolizmasının yan ürünü olarak sinyal mekanizmalarına sahip olmaktadır (Lindermayr ve Durner, 2015). Reaktif oksijen türleri stres koşullarında lipid peroksidasyonu, protein indirgenmesi ve DNA parçalanmasını indükleyerek hücrel hasara ve önemli sinyal moleküllerinin inaktivasyonuna yol açmaktadır (Fancy ve ark., 2017).

Bitkiler, stres koşullarında hayatta kalabilmek için üretilen reaktif oksijen radikallerine karşı bazı savunma stratejileri geliştirmektedir. Bunlar enzimatik yollarla (süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon reduktaz (GR), glutatyon peroksidaz (GPOX) glutatyon S-transferaz

(GST), dehidroaskorbat redüktaz (DHAR), monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR)) yapılan savunmalar ve enzimatik olmayan (glutasyon, askorbat, fenolik bileşikler, flavonol, antosiyanin, tokoferol, askorbik asit, karotenoidler, fenilalanin amonyak-liyaz ve tirozin amonyak-liyaz) madde ve yollarla ilgilidir (Lau ve ark., 2021).

2.2. NO'in Bitki Büyüme ve Gelişmesine Etkileri

1992 yılında “Yılın Molekülü” seçilen nitrik oksit (azot monooksit) esansiyel bir gazotransmitter olarak çok yönlü fizyolojik role sahiptir (Koshland, 1992; Mur ve ark., 2013; Krasuska ve ark., 2017). Bitki bünyesinde NO salınması ilk olarak herbisitlerle muamele edilmiş soya fasulyesi (*Glisin max*) bitkilerinde 1975 yılında Klepper tarafından gözlemlenmiştir (Klepper, 1979). Bitkilerin önemli miktarlarda endojen olarak nitrik oksiti ürettikleri daha sonraki yıllarda kesinlik kazanmıştır (Wildt ve ark., 1997). Nitrik oksitin bitki büyümesi ve gelişmesinde, farklı stres koşullarından kaynaklanan oksidatif hasarlara karşı iyileştirici etkileri olduğu kabul edilmektedir (Nabi ve ark., 2019; Verma ve ark., 2019; Nasir ve ark., 2020). Reaktif oksijen türleri (ROT) normal şartlarda ve stres koşulları altında da üretilebilir. Stres koşulları altında ROT birikimi daha da fazla artmaktadır (Hasanuzzaman ve ark., 2020). Bitki metabolizmasında sıcaklık, kuraklık, tuzluluk, metal toksisitesi gibi çeşitli stresler altında nitrik oksit, sinyal iletim yolunda görev alıp süperoksit radikallerinin birikmesini engellemektedir. Bununla birlikte lipid peroksidasyonunu önleyerek ROT'un detoksifikatörü olarak görev yapmaktadır (Sohag ve ark., 2020; Zhao ve ark., 2020).

Bitki metabolizmasında özellikle stres koşullarında sinyal iletim yolunda görev aldığı bilinen NO, ayırt edici lipofilik, düşük yoğunluklu serbest radikal moleküler özellikleriyle hücre zarlarından kolayca dağılılabilen bir haberci moleküldür (Shivaraj ve ark., 2020). Nitrik oksit, hücreler arasındaki stres sinyallerini iletmek için diğer sinyal molekülleriyle birlikte çalışmaktadır. Bu sinyal molekülleri arasında reaktif oksijen türleri (ROT), fitohormonlar, gibberellin (GA), sitokinin (CK), etilen (ET), absisik asit (ABA), jasmonik asit (JA), bitki büyüme düzenleyicisi olarak melatonin (MT) ve diğer sinyal molekülleri yer almaktadır (Krasuska ve ark., 2017).

Nitrik oksit bitkilerde haberci molekül olarak yaprak genişlemesi, tohumların çimlenmesi ve dormansi, deetiyolasyon, hipokotil ve internod uzaması, stoma hareketi, klorofil içeriği, mitokondri işlevselliği, fotosentez, sürgün ve kök morfogenezi, gravitropizma, çiçeklenme, terleme, polen tüpü büyümesi, hücre duvarı biyosentezi ve

bekçi hücrelerinin oluşumu, meyve tutumu ve olgunlaşması, senesens ve programlanmış hücre ölümü gibi önemli süreçlerde savunma mekanizmalarının kontrolünde rol oynadığı saptanmıştır (De Sousa ve ark., 2020; Majeed ve ark., 2020; Ozfidan-Konakci ve ark., 2020; Pissolato ve ark., 2020; Zuccarelli ve ark., 2020). Stresli koşullarda yapılan birçok araştırmada NO'in bitkilerin stres şartlarına dayanım mekanizmalarını çeşitli bitkilerde (mısır, soya fasulyesi, kanola, bezelye, ayçiçeği, pirinç, marul, fasulye, mercimek, biber) artırdığı rapor edilmiştir (Kerkütlüoğlu, 2007; Shehab ve ark., 2010; Deveci, 2015; Esim ve ark., 2015; Tabay ve ark., 2015; Biçer, 2016; Kayın, 2020; Rezayian ve ark., 2020).

2.2.1. NO'in Kimyasal Özellikleri ve Metabolizması

Nitrik oksit, hidrofobik özellik sergileyen, yayılma gücü yüksek gaz yapısında bir küçük moleküldür. Su ve yağda eriyebilen, renksiz, bir yarı-ömre sahip serbest bir radikaldir. Yalnızca sitoplazma gibi hücrenin hidrofilik bölgesinde değil, aynı zamanda membranların lipit fazı boyunca da serbestçe yayılabilir (Lancaster, 1997; Stoehr ve Ullrich, 2002).

Nitrik oksit sentezi bitki türüne, dokusuna, yetiştirme ortamına bağlı olarak değişir ve başlıca mitokondri, kloroplast, sitoplazma, nükleus, peroksizom matriksi ve apoplastlarda üretilmektedir (Huang ve ark., 2019).

Bitkilerde nitrik oksit, indirgeyici ve oksidatif yollarla biyosentezlenebilir (Gupta ve ark., 2020). Bitki bünyesinde NO sentezi enzimatik ve enzimatik olmayan iki metabolik yolla gerçekleşir (Filipovic ve Jovanović, 2017). İndirgenmiş NO, mitokondriyal elektron taşıma zinciri (mETC) veya heme içeren proteinler yoluyla nitrat redüktaz aktivitesi yoluyla üretilebilir. NO sentezinin oksidatif yolunda, nitrik oksit sentaz (NOS) enzimi L-arginini nitrik oksit ve L-sitruiline dönüştürmektedir (Corpas ve Barroso, 2018; León ve Costa-Broseta, 2020).

Bitkilerde NO üretimi peroksidaz, ksantin oksidoredüktaz gibi enzimler ile ve sitokrom P450, Fe içeren proteinler aracılığıyla da gerçekleşmektedir (Wang ve ark., 2010; Gupta ve ark., 2011). Peroksidaz enzimi, N-hidroksiarginin+hidrojen peroksit ve hidroksiüre+hidrojen peroksitten nitrik oksit üretmektedir (Veitch, 2004). Nitrat asimilasyonunun önemli enzimi nitrat redüktazın da NO₂⁻den nitrik oksiti ürettiği bilinmektedir (León ve Costa-Broseta, 2020).

Enzimatik olmayan yolda, NO₂, NO ve DHA üreterek askorbik asit ile apoplastik alanlarda ve kloroplastlarda kimyasal olarak reaksiyona girmektedir (Stoehr ve Ullrich, 2002). Bunun yanında nitrik oksit karotenoid aracılığıyla NO₂'nin ışıkla indirgenmesiyle de ortaya çıkmaktadır (Cooney ve ark., 1994). Bununla birlikte nitrifikasyon ve denitrifikasyon esnasında da nitrik oksit üretimi meydana gelmektedir (Bollmann ve ark., 1999).

Sodyum nitroprussid (SNP) ve sodyum-nitroso-N-asetil-penisilamin (SNAP), 3-morfolinosydnonimin (SIN-1), S-nitroglutasyon (GSNO), NONOate'lar ve organik NO₃⁻ gibi nitrik oksit donörleri uygulamalarıyla da meydana gelebilmektedir (Leshem, 1996; Tan ve ark., 2013). SNAP, GSNO ve SNP olmak üzere en çok kullanılan üç NO bağışçısı arasında SNAP'ın, nitrik oksit üretim oranı en yüksektir, bunu GSNO ve SNP izlemektedir. Buna karşılık SNP'nin (12 saat), GSNO (7 saat) ve SNAP (3 saat) ile karşılaştırıldığında çözeltide en uzun yarı ömre sahip olduğu tespit edilmiştir. Fotosentetik açıdan SNP, GSNO ve SNAP ile karşılaştırıldığında çok daha yüksektir (Floryszak-Wieczorek ve ark., 2006). NO vericileri arasında SNP, stabilitesi ve uzun ömürlü bir NO rezervuarı olarak hareket etme kararlılığı nedeniyle bitki araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Gupta ve ark., 2011).

2.3. Kuraklık ve NO Uygulamaları

NO'in bitki büyüme, gelişme ve savunma cevaplarında yaygın hücre içi ve hücreler arası haberci molekül olduğu bilinmektedir (Leshem ve Haramaty, 1996). Dışarıdan uygulanan NO bitki büyüme ve gelişiminin çeşitli yönlerini (Ribeiro Jr ve ark., 1999) etkilemektedir. Patojenlere (Romero-Puertas ve Delledonne, 2003), ışığa (Beligni ve Lamattina, 2000), yerçekimi (Pedroso ve ark., 2000) ile oksidatif strese (Rezayian ve ark., 2020) karşı oluşturulan cevaplarda etkili olmaktadır. Bununla birlikte antioksidan savunma enzimlerinin aktivitelerinde (Ekinci ve ark., 2020), hücre duvarı sentezinde (Ferrer ve Ros Barceló, 1999), iyon kanallarında (Garcia-Mata ve ark., 2003), kloroplastta ve mitokondride (Stoehr ve Ullrich, 2002), senesens (Selçukcan, 2005), hücre ölümünde ve yaralanmada (Pedroso ve ark., 2000) önemli rolleri olduğu tespit edilmiştir.

Kuraklık stresi altında, bitkiler fotosentezdeki bir azalmaya bağlı olarak aşırı miktarda reaktif oksijen türleri (ROT) üretmektedir. Bu durum elektron taşıma zincirinde aşırı bir azalmaya ve dolayısıyla fotooksidatif strese neden olmaktadır (Miller

ve ark., 2010). Bitkiler enzimatik ve enzimatik olmayan yollarla ROT detoksifikasyonu mekanizmaları geliştirmektedir (Hasanuzzaman ve ark., 2012). Nitrik oksit, ROT düzeyini azaltarak hücrel oksidatif hasara karşı korunmada rol yapmaktadır (Neill ve ark., 2008). NO, su eksikliği ile başa çıkmak için antioksidan olarak doğrudan stoma kapanmasında ve kök morfolojisi üzerinde rol almaktadır (Shao ve ark., 2010).

NO, lipid peroksidasyonunu engelleyerek, fotosentez hızını artırarak ve MAP kinaz yolu gibi çeşitli sinyal yollarıyla antioksidan sistemleri teşvik ederek reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerini sınırlandırmaktadır (Asai ve ark., 2008; Shi ve ark., 2014). Bitkilerin kuraklık toleransında, CAT, SOD, GPOX, APOX, DHAR ve GR gibi antioksidan enzim sistemlerinin aktivasyonu ile önemli ölçüde artışlar sağlanmaktadır (Liu ve ark., 2012). Yapılan çalışmaların belirttiği gibi CAT ve SOD aktivitesi kuraklık altında azalırken, NO uygulaması ile aktiviteleri artış göstermektedir (Gan ve ark., 2015). Metaloenzim SOD, H₂O₂ oluşturmak için süperoksitin dismutasyonunu katalize eder, daha sonra hidrojen peroksit CAT ve POX tarafından H₂O ve O₂'e dönüştürülmektedir (Zhang ve ark., 2007). Kuraklık altında, süperoksit anyonu (O₂⁻) birikimine karşı koymak için farklı SOD izoformlarının aktivasyonu önemli strateji olarak kabul edilmektedir (Zandalinas ve ark., 2017; Shan ve ark., 2018).

Sodyum nitroprussid (SNP) ile yapılan tedavinin kuraklık altında SOD, CAT ve POX aktivitelerini artırdığı ve bitkilerde daha düşük ROT birikimine neden olduğu gösterilmiştir (Fan ve ark., 2012). NO uygulaması, elektrolit kaybını sınırlandırarak, yaprak H₂O₂ ve MDA içeriğini azaltarak kuraklığın olumsuz etkilerini önlediği belirtilmiştir (Gan ve ark., 2015).

Yaprak dışı NO uygulamasının iki sulama rejimi altında yetiştirilen domates bitkileri üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla çalışma yürütülmüştür. Genel olarak, kurak koşullar altında, bitki büyümesi, klorofil, RWC, meyve verimi, nitrit ve nitrat içeriği azalırken, MDA, prolin, çözünür şekerler, çözünür fenoller, antioksidan enzimlerin aktiviteleri (APX, CAT, POX ve PPO) ve likopen miktarında artış görülmüştür. 100 µM SNP uygulaması, kuraklığın tüm zararlı etkilerini nispeten azaltmıştır. Çalışma sonucu olarak, kuraklıktan kaynaklanan olumsuz etkileri hafifletmek için 100 µM SNP uygulaması önerilmiştir (Elkelish ve ark., 2021).

Kurak koşullarda nohut bitkisine verilen ABA ve nitrik oksit uygulamalarının bitki büyümesine olan etkileri incelenmiştir. Kuraklığa duyarlı nohut bitkilerinde NO uygulamalarıyla oransal su içeriği dışında diğer tüm parametrelerde (prolin, MDA, lipoksigenaz aktivitesi, toplam klorofil ve protein miktarı) artışlar görüldüğü tespit

edilmiştir. Kurak koşullarda hassas genotipte, stres altında içsel absisik asit, NO ve prolin gibi moleküllerin artışı belirlenmiştir (Yürekli, 2015).

Kuraklık stresi koşullarında (%10 PEG) hint hardalı (*Brassica juncea*) bitkisinde nitrik oksit (100 μ M) ve absisik asidin (10 μ M) etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçları, PEG'in neden olduğu strese yanıt olarak, yapraklardaki bağıl su içeriği, klorofil, karotenoidler ve protein içeriğinin O_2^- , MDA, H_2O_2 , sistein içeriği ve enzimatik olmayan antioksidanların üretimindeki artışla azaldığını göstermiştir. Enzimatik antioksidanların (SOD, CAT, APX, GR), her iki *Brassica* çeşidinde de artmasına veya azalmasına kadar bir dizi reaksiyon göstermiştir. PEG stresi olan çeşitlerde NO veya ABA'nın uygulanması, hem enzimatik hem de enzimatik olmayan antioksidanların, her iki çeşidin yapraklarında ve köklerinde oksidatif stresin hafifletilmesine farklı tepki verdiği ortaya konulmuştur (Sahay ve ark., 2019).

Kurak koşullarda yetiştirilen buğday genotiplerine NO donörü olarak SNP tatbik edilmiştir. SNP uygulamasıyla bitkilerin gövde yaş ağırlığı ve kök kuru ağırlığı, gövde-kök boyu değerleri yükselmiştir. Kontrol ve kuraklık şartlarında NO uygulamasına bağlı olarak SOD, CAT aktivite değerleri artış gösterirken, POX aktivite değerleri azalmıştır. Kurak koşullarda MDA miktarları artarken, kuraklık+NO grubunda MDA miktarı tüm genotiplerde benzer miktarlarda azalmalar göstermiştir (Kavuncu, 2019).

Kuraklık stresi altında yetiştirilen buğday bitkisinin gelişimi ve bazı fizyolojik özelliklerini belirlemek amacıyla NO uygulaması yapılmıştır. NO donörü olarak sodyum nitroprussid (SNP) 0.1 mM dozda uygulanmıştır. Kuraklık uygulaması sonucu sürgün boyu ve yaş ağırlık değerleri azalmıştır. Sürgün kuru ağırlık değerleri genotiplere göre farklılık göstermiştir. Sultan genotipinde antioksidan enzimlerin aktiviteleri (katalaz, glutatyon redüktaz ve askorbat peroksidaz) PEG kaynaklı stres şartlarında artış göstermiştir. İkizce ve Yüreğir genotiplerinde kurak koşullarda katalaz enzim aktiviteleri azalış gösterirken, glutatyon redüktaz ve askorbat peroksidaz aktivitelerinin artış gösterdiği belirlenmiştir (Yayık, 2017).

Kuraklığa toleranslı ve hassas karpuz genotiplerinin kurak koşullar altında NO muamelesinin etkileri incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre NO uygulama grubu kontrole kıyasla bitkilerin büyüme parametrelerinde artışlar sağlamıştır. Süperoksit dismutaz aktivitesi kuraklığa dayanıklı genotipte duyarlı genotipe göre daha fazla yüksek aktivite oranı sergilerken, bu oranın NO ile daha yükseldiği belirtilmiştir. Peroksidaz ve katalaz aktiviteleri her iki genotipte de düşük aktivite göstermiştir. Nitrik

oksit uygulamasıyla kurak koşullarda gerçekleşen MDA miktarındaki artışlar az da olsa engellenmiştir (Avşaroğlu, 2016).

Soya fasulyesi bitkisinde kuraklık stresinin olumsuz etkilerini belirlemek amacıyla nitrik oksit (NO) uygulamaları yapılmıştır. Bitkiler, nitrik oksit (100 µM) içeren ve içermeyen farklı PEG konsantrasyonları (%0, 5, 10 ve %15) ile muamele edilmiştir. PEG grubu soya fasulyesi bitkisinde büyümeyi önemli ölçüde azaltmıştır. Kurak koşullar hidrojen peroksit, malondialdehit ve aldehit içeriğindeki artışlarla oksidatif strese sebep olmuştur. Kuraklık stresi altında nitrik oksit uygulamaları reaktif oksijen türlerini indükleyerek antioksidan enzim aktiviteleri (SOD, CAT, APOX, POX ve PPOs) ve fenol, flavonol ve tokoferol aktivitelerini artırırken, lipid peroksidasyonunu azaltarak hücre membranının korunmasını sağlamıştır. Böylece nitrik oksitin soya bitkisinde kuraklık stresinin yıkıcı etkilerini hafifletme yeteneği olduğu sonucuna varılmıştır (Rezayian ve ark., 2020).

Yaprak dışı uygulanan nitrik oksitin (SNP) mısırdaki (*Zea mays* L.) sülfür (glutasyon redüktaz, guaiakol peroksidaz ve glutasyon S-transferaz) ve nitrat asimilasyon (nitrit ve nitrat redüktaz) yolu enzimleri üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Kuraklığa dayanıklı (NK8711) ve hassas (P1574) mısır hibridinin fidelerine, normal ve kuraklık stres koşullarında çeşitli SNP dozları (0, 50, 100, 150 ve 200 µM) uygulanmıştır. 100 µM NO muamelesi, her iki mısır melezinde de artan antioksidan (katalaz, askorbat peroksidaz ve süperoksit dismutaz) aktiviteleri sayesinde su durumunu ve klorofil içeriğini belirgin şekilde iyileştirerek kuraklıktan kaynaklanan oksidatif hasarları hafifletmiştir. Yüksek dozlarda SNP (150 ve 200 µM) muamelesi, MDA, H₂O₂ ve NO içeriğini artırarak oksidatif stresin toksik etkilerini şiddetlendirmiş ve antioksidanların enzimatik aktivitesini inhibe eden LOX aktivitesini artırmıştır. Çalışma sonucunda NO'nin etkileri aynı kültürün türlerinde bile farklılık gösterebileceği ve düzenleyici süreçleri doza bağımlı bir şekilde etkileyebileceği belirlenmiştir (Majeed ve ark., 2018; Majeed ve ark., 2020).

Kurak koşullarda (%10 - %20 PEG) eksojen olarak uygulanan NO (500 µM sodyum nitroprussid, 24 saat)'in kolza fideleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kuraklık stresi, prolin (Pro) seviyesi ile bağıl su içeriğinin azalmasına, yüksek H₂O₂ üretimi sonucunda oksidatif hasarın açık belirtileri olan membran lipid peroksidasyonunun artmasına neden olmuştur. Eksojen NO, enzimatik olmayan antioksidan seviyelerini ve antioksidan enzimlerin aktivitesini artırarak kolza

filizlerindeki oksidatif hasarı başarılı bir şekilde azaltmıştır (Hasanuzzaman ve ark., 2017).

Nitrik oksit (NO) bazı fizyolojik ve biyokimyasal reaksiyonlar üzerindeki etkinliğini iyi sulanan ve kuraklık koşullarında pazı bitkisinin (*Beta vulgaris* L. var. *cicla*) su kullanım verimliliğini belirlemek amacıyla araştırma yapılmıştır. Nitrik oksit donörü olarak 4 doz (0, 50, 100, 150 ve 200 μ M) sodyum nitroprussid (SNP) eksojen olarak uygulanmıştır. Nitrik oksit, kuraklık stresinin yaş ve kuru ağırlıkları, klorofil içeriği, gaz değişim parametreleri ve elektrolit sızıntısı üzerindeki olumsuz etkilerini tüm dozlarda, özellikle hem tohum hem de yaprak dışı uygulamalar için 100 ve 150 μ M dozlarda azaltmıştır. Nitrik oksit uygulaması ile özellikle iyi sulanan koşullar altında daha yüksek antioksidan enzim aktiviteleri gözlemlenmiştir. Öte yandan, uygulanan NO'nun en yüksek dozu (200 μ M) bitki ağırlığı ve su kullanım verimliliği üzerinde olumsuz bir etki göstermiştir. NO uygulaması kuraklık altında bitki büyümesi, antioksidan enzim aktiviteleri (CAT, SOD, POX) ve ES, fotosentez hızı, stoma iletkenliği değerlerinde artışlara neden olmuştur. Bu çalışma sonuçları, kuraklık stresi koşullarında NO uygulamasının pazı bitkisinde önemli bir iyileştirici etkiye sahip olabileceğini göstermiştir (Ekinci ve ark., 2020).

İki kanola (*Brassica napus* L.) çeşidinin (Dunkeld ve Siklon), yaprak dışı nitrik oksit (NO, 0.02 mM) ve 5-aminolevulinik asit (ALA, 0.895 mM) uygulamalarının kurak koşullar altında tepkisini değerlendirmek için bir çalışma yapılmıştır. Her iki kanola çeşidinin bitkileri kontrol (%100 tarla kapasitesi) ve su stresine (%60 tarla kapasitesi) tabi tutulmuştur. Kuraklık stresi her iki çeşitte de büyümeyi, klorofil pigmentlerini, bağıl su içeriğini (RWC) ve çözünür proteinleri önemli ölçüde azaltırken, bağıl membran geçirgenliği (RMP), prolin, glisin betain (GB), malondialdehit (MDA), toplam fenolikler, katalaz (CAT) ve peroksidaz (POX) enzimlerinin aktivitelerini artırmıştır. NO ve ALA yaprak dışı uygulaması büyüme, klorofil a, GB, toplam fenolikler, CAT aktivitesi ve toplam çözünür protein miktarında artışlar sağlarken, her iki kanola çeşidinde de RMP, MDA ve POX aktivitesini azaltmıştır. Bu çalışma sonuçları, NO ve ALA'nın eksojen uygulamasının, oksidatif savunma sistemi aktivitelerini artırarak, ozmoprotektan birikimini ve lipid peroksidasyonunu en aza indirerek kanola bitkilerinin kuraklık toleransını arttırmak için yararlı olabileceğini göstermektedir (Akram ve ark., 2018).

Farklı konsantrasyonlarda eksojen sodyum nitroprussidin (SNP, NO donörü) pak choi'nin (*Brassica chinensis* L.) NaCl stresi altındaki tohum çimlenmesi ve erken fide

büyüme özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla çalışma yapılmıştır. 100 mM NaCl stresi, tohum çimlenme potansiyelini, çimlenme indeksini, canlılık indeksini, radiküllerin ve plumüllerin büyümesini belirgin şekilde inhibe etmiştir. 10 µM SNP ön muamelesi, tohum çimlenmesinin özelliklerini ve erken fide büyüme parametrelerini artırarak en iyi doz olarak belirtilmiştir. SNP uygulaması ile SOD, CAT, APOX, POX antioksidan enzim aktiviteleri artmıştır. MDA ve H₂O₂ içeriği ve üretim miktarında azalmalar tespit edilmiştir (Ren ve ark., 2020).

2.4. Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Kaynak Araştırması

Tuz stresine dayanıklı ve hassas ayçiçeği bitkilerinde dışarıdan uygulanan sodyum nitroprussidin (SNP) süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GPOX), askorbat peroksidaz (APOX) ve katalaz (CAT) antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Tuz uygulaması (NaCl+SNP) ile eş zamanlı olarak NaCl ve SNP uygulamaları yapılmıştır. SOD, GPOX, APOX ve CAT antioksidan enzim aktiviteleri 100 µM SNP, farklı NaCl konsantrasyonları ve NaCl+SNP ile tedavi edilen yaprak dokularında farklılıklar göstermiştir. SOD, GPOX ve APOX enzim aktiviteleri genellikle hassas çeşitte artarken, toleranslı çeşitte azalmalar gerçekleşmiştir. Bunun yanında, toleranslı çeşitte CAT enzim aktivitesinde genel artış saptanırken, hassas çeşitte azalmalar tespit edilmiştir. Bu sonuçlara dayanılarak NO uygulamasının her iki tipte de ROT'larla başa çıkabileceği ortaya konulmuştur. Bu çalışma, tuz stresinin çeşitli ayçiçeği çeşitleri üzerindeki olumsuz etkilerinin nitrik oksit kullanılarak ortadan kaldırılabileceğini göstermektedir (Kireççi ve Yürekli, 2019).

Ayçiçeği bitkisinde MT×NO etkileşimi yoluyla NaCl-stres algılayıcı sinyal molekülü olarak olası rolünü açıklamak için çalışma yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, melatonin ve nitrik oksit sinyal yolları arasındaki etkileşimin, filiz büyümesinin düzenlenmesinde ve tuz stresi altında ayçiçeği filizlerinde oksidatif homeostazın korunmasında rol oynayabileceği tespit edilmiştir (Arora ve Bhatla, 2017).

Ayçiçeği bitkilerinde çinko toksisitesine bağlı oksidatif hasara karşı korunmada sodyum nitroprussidin olası rollerini incelemek amacıyla bir deneme kurulmuştur. Deneme sonuçları, Zn fazlalığının bitki büyümesini, tohum verimi bileşenlerini ve fotosentetik pigment içeriğini azalttığı tespit edilmiştir. Öte yandan, Zn stresi, yeni protein bantlarının ortaya çıkmasıyla birlikte askorbik asit ve glutatyon, süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz ve glutatyon redüktaz antioksidan enzim seviyelerini

yükseltmiştir. SNP'nin (20 µM) eksojen olarak uygulanması, büyüme parametreleri, fotosentetik pigment, askorbik asit ve glutasyon içerikleri, antioksidan enzim aktivitelerininde artışlar sağlamıştır. Bu nedenle, SNP tedavisinin ayçiçeği bitkilerinde Zn toksisitesini azaltmaya yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır (Akladiou ve Mohamed, 2017).

Ayçiçeği bitkisinin kurak koşullarda fizyolojik hasar mekanizmalarını ve kuraklıktan kaçınma mekanizmalarını ortaya koymak amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Kuraklık stresi altında yetiştirilen 12 ayçiçeği çeşidine silisyum (Si) uygulamasının sürgün ve kök gelişimi, yaprak oransal su içeriği, stoma direnci, lipid peroksidasyonu, membran geçirgenliği, prolin ve hidrojen peroksit birikimi, CAT, APOX, SOD gibi antioksidan enzimler üzerine etkileri incelenmiştir. Genel olarak kuraklık stresi altında tüm çeşitlerde stoma direnci ve H₂O₂, prolin ve MDA içeriği artış göstermiştir. CAT enzim aktivitesi kuraklık stresi ile önemli ölçüde azalmıştır, ancak Si uygulaması ile birlikte aktivitesi artmıştır. Genel olarak, tüm çeşitlerde SOD ve APOX aktiviteleri kuraklıkla artarken, Si uygulaması ile azalmıştır (Gunes ve ark., 2008).

Kuraklık stresi altında ayçiçeği bitkisinde çinko sülfat, potasyum fosfit ve hidrojen sülfid püskürtülmesinin fizyolojik ve biyometrik özelliklerinde meydana getirdiği değişikliklerini incelemek amacıyla çalışma yapılmıştır. Bu uygulamalar su potansiyeli değerlerinin yükselmesine, yaprak MDA içeriğinin düşmesine neden olmuştur. Tüm uygulamalar (çinko sülfat hariç) antioksidan enzimlerden peroksidaz (POX) aktivitesinin artmasına sebep olmuştur. Ancak, yaprak ozmotik potansiyeli, prolin konsantrasyonu, gaz değişimi, klorofil a floresansı ile ilgili değişiklikler gözlemlenmiştir. Ayçiçeği bitkilerine çinko sülfat, potasyum fosfit ve hidrojen sülfid püskürtülmesi, özellikle antioksidan tepkilerle ilgili fizyolojik süreçlerde ve yaprak dokularında suyun korunmasında etkili olan su açığının olumsuz etkilerini hafifletmiştir (Almeida ve ark., 2020).

Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Sanbro çeşidinin işlenmiş tohumları üzerinde tuz (NaCl) ve kuraklık (PEG-6000) stresi altında çimlenme ve erken fide büyümede meydana getirdiği değişimleri ortaya koymayı amaçlayan çalışma yapılmıştır. Sonuçlar, her iki çözültide de çimlenmenin geciktiğini belirlemiştir. Çimlenme, kök ve sürgün uzunluğu daha yüksek iken ortalama çimlenme süresi ve anormal çimlenme yüzdesi NaCl'de aynı su potansiyelinde PEG'den daha düşük tespit edilmiş. Tohumlar tüm NaCl konsantrasyonlarında çimlenebilmiş, ancak PEG uygulaması -1.2 MPa'sında tohum çimlenmesi gözlenmemiştir. Bu çalışmada, NaCl ve PEG uygulamaları aynı su

potansiyelinde çimlenmenin inhibisyonunun tuz toksisitesinden ziyade ozmotik etkiden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Kaya, 2005).

Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinde kuraklık toleransını artırmak için K ve kitosanın (Ct) etkilerini anlamak doğrultusunda deneme yapılmıştır. Ayçiçeği fidelerinde biyokütleyi, su durumunu ve toplam klorofili iyileştirmek için en etkili doz olarak K (11.48 g/l) ve Ct (0.28 g/l) dozları belirlenmiştir. K ve Ct uygulamaları, fotosentetik aktiviteyi artırarak, turgorun korunmasını ve antioksidan enzimlerin aktivitelerini (CAT, POX, APOX ve SOD) yükselterek ayçiçeğinde kuraklık stresinin olumsuz etkilerini hafiflettiği rapor edilmiştir. Aynı zamanda prolin, toplam fenolikler, toplam serbest amino asitler, toplam çözünür şekerler, iyot değeri gibi uyumlu çözünenlerin konsantrasyonları artış göstermiştir. Bu iyileşmelerden dolayı, potasyum+kitosan uygulamaları oksidatif stresle başa çıkabilmek için olumlu etkiler göstermektedir denilebilir (Shehzad ve ark., 2020).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Bitki Materyallerinin Temini

Çalışmamızda kullanılan tohumlar, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünden ve Kazak Ulusal Tarım Araştırma Üniversitesi Agrobiyoloji Fakültesi Tarım Bilimi Bölümünden temin edilmiştir. *Asteracea* familyasına ait ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) tohumları, 20 adet saf hat (RAS 1, RAS 2(1), RAS 4, RAS 15, RAS 19, RAS 20, RAS 32, RAR 7, RAR 33, RAR 56, RAR 48, RAR 113, RAR 114, RAR 117, RAR 123, RAR 124, RAR 127, RAR 128, RAR 133, RAR 136), 10 adet Türkiye ticari çeşitleri (P64LE119, P64HH106, P64LP130, P63MM54, PB108S, PB118N, P64HE118, P64HH118, Tunca, Alcantara) ve 5 adet Kazakistan ticari çeşitleri (Zarya, İrtiş, Vostoçnyy, Altay, Şımkent) olmak üzere toplamda 35 çeşit ayçiçeği genotipi kullanılmıştır.

3.2. Metot

Araştırma materyali olarak kullanılan ayçiçeği genotipleri iklim odasında kontrollü koşullarda su kültürü ortamında yetiştirilmiştir. Gerekli ısı, nem, ışık ve ayrıca sterilizasyon kontrolleri yapılmıştır.

3.2.1. Gelişme Koşulları

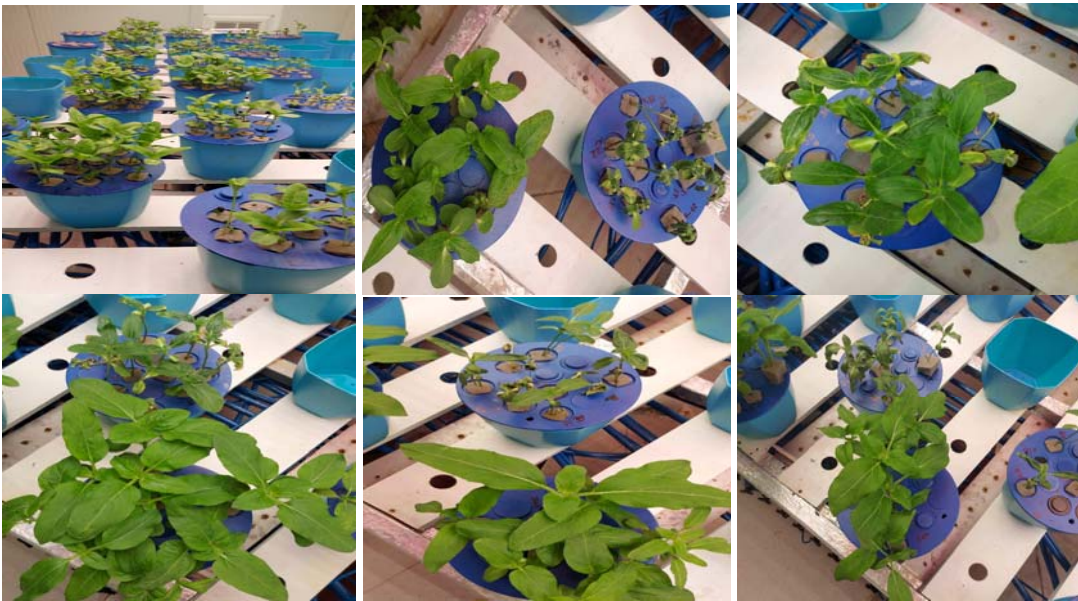
İklim odası; genotiplere ait tohumların çimlenme ve çimlenme sonrası genç fidelikleri, büyüme ve gelişme süresince %45-55 nem, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık fotoperiyod, $21\pm 1^{\circ}$ C sıcaklık ile 10000 Lüks gün^{-1} ışık intensitesi olacak şekilde ayarlanmıştır.



Resim 3.1. İklim odasında yetiştirilen ayçiçeği genotiplerine ait resimler

3.2.2. Ön deneme

Önceki yapılan çalışmalar sonucunda $100 \mu\text{M}$ nitrik oksit dozu uygun doz olarak kabul edildiği için ön denemede sadece kuraklık dozu belirlemek amacıyla %4, %8, %10, %12, %16 ve %20 PEG 6000 içeren 1/5'lik Hoagland solüsyonu 14 gün boyunca 35 ayçiçeği genotipine uygulanmıştır. Kuraklık dozlarına bağlı olarak ayçiçeği genotiplerinde farklı gelişmeler belirlenmiştir. Ancak %16 ve %20 PEG 6000 uygulamasıyla bütün ayçiçeği genotiplerinde kurumalar görülmüştür. %4, %8 ve %10 PEG 6000 uygulamalarında ayçiçeği genotiplerinde dirençlilik görüldüğü için çalışmamızda NO uygulamasının etkilerini görebilmek amacıyla %12 PEG 6000 dozu uygun doz olarak seçilmiştir.



Resim 3.2. Araştırmada kullanılan ayçiçeği genotiplerine ait ön deneme resimleri

Denemenin 4. günü kurumaların görüldüğü genotipler hasat edilmiş ve bitki kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Kuru ağırlıkları düşük olan saf hatlardan RAR 133 ve ticari hatlardan Zarya genotipi kuraklığa hassas genotip olarak seçilmiştir. Denemenin 14. günü hasat edilen genotipler arasında kuru ağırlıkları yüksek olan saf hatlardan RAR 56 ve ticari hatlardan İrtış genotipleri kuraklığa dayanıklı genotipler olarak belirlenmiştir.



Resim 3.3. Ön denemede seçilen, a – kuraklığa dayanıklı ticari hat İrtış, b – kuraklığa dayanıklı saf hat RAR 56, c – kuraklığa hassas ticari hat Zarya, d – kuraklığa hassas saf hat RAR 133 genotiplerine ait resimler

3.2.3. Deneme Serilerinin Hazırlanması

Seçilen ayçiçeği genotiplerinde (İrtış, Zarya, RAR 56, RAR 133) kurak koşullarda (%12 PEG 6000) nitrik oksit uygulamasının (100 μ M NO) etkilerinin araştırıldığı çalışma, 4 uygulama \times 4 genotip \times 4 tekerrür olmak üzere toplam 64

saksıda yürütülmüştür. Çalışmada kontrol grubu olarak sadece 1/5'lik Hoagland besin solüsyonu kullanılmıştır. Deneme planı Şekil 3.1'de verilmiştir.

Uygulama/ Genotip	Kontrol (Hoagland)	Kontrol+NO (Hoagland + 100µM Nitrik oksit)	Kuraklık (%12 PEG 6000)	Kuraklık+NO (%12 PEG 6000 + 100µM Nitrik oksit)
İrtiş	○○○○	○○○○	○○○○	○○○○
Zarya	○○○○	○○○○	○○○○	○○○○
RAR 56	○○○○	○○○○	○○○○	○○○○
RAR 133	○○○○	○○○○	○○○○	○○○○

Şekil 3.1. Deneme planı

3.2.4. Tohum Ekimi



Resim 3.4. Araştırmada kullanılan ayçiçeği genotiplerine ait çimlendirme resimleri

Denemede kullanılan tohumlar önce %5'lik sodyum hipoklorid ile 10'ar dakika muamele edilmiştir. Daha sonra de-iyonize su (dİ -H₂O) ile 3 kez yıkanarak sterilize edilerek çimlendirme düzeneği kurulmuştur. Ayçiçeği genotiplerine ait tohumlar 2 saat de-iyonize suda şişirildikten sonra nemli filtre kağıdı içeren petrilere yerleştirilerek 4-5 saat bekletilmiştir. Karanlık ortamında çimlenene kadar (7-10 gün) bekletilmiştir. Daha sonra bitkiler sürekli havalandırılan 1/5'lik Hoagland solüsyonuna aktarılarak (pH 6.0) su kültürü ortamında yetiştirilmiştir. Bitkiler ilk üç yapraklı evreye geldiklerinde ayçiçeği çeşitlerine PEG 6000 ve 100 µM nitrik oksit içeren 1/5'lik Hoagland solüsyonu uygulanmıştır. Besin solüsyonları her üç günde bir yenilenerek değiştirilmiştir. Bitkilerden kuraklık koşullarında nitrik oksit uygulamalarının morfolojik değişimler göstermeye başladığında örneklemeler yapılmıştır. Örneklemelerde saksılardaki bitkilerden eşit sayıda kökleriyle birlikte bütün bitki alınıp, kökler ayrıldıktan sonra yeşil aksam enzim analizlerinde kullanılmak üzere -80° C'de derin dondurucuda saklanmıştır.

Kuraklık koşullarında nitrik oksit uygulamalarının etkilerini belirlemek ve amaçta belirtilen hedeflere ulaşabilmek için hasat edilen ayçiçeği genotiplerine ait örneklerde aşağıda belirtilen çalışmalar yapılmıştır.

3.3. Bitki Örneklerinde Fizyolojik Analizler

3.3.1. Büyüme Parametreleri

Denemede oluşturulan uygulama gruplarından, hasat sonrası bitki numuneleri alınarak kökleri ve gövdeleri birbirinden ayrılmıştır. Kök ve gövdenin uzunlukları ölçülerek, yaş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Bitki örnekleri 70° C de 72 saat etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları tartılmıştır.

3.3.2. Bitki örneklerinde K, Mg, Ca ve Na analizi

Örneklemeye sonrası bitkilerin vejetatif ve kök aksamı tamamen temizleninceye kadar musluk suyu ile yıkanmıştır. Daha sonra sırasıyla bir kez saf su, 0.2 N HCl çözeltisi, iki kez saf su ve bir kez de-iyonize H₂O ile yıkanıp, kaba filtre kağıdı üzerinde fazla suları alınmıştır. Kese kâğıdına ayrı ayrı konulan bitki kısımları hava sirkülasyonlu kurutma dolabında 70° C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur.

Bitki örneklerinin kuru ağırlıkları tartıldıktan sonra tungsten kaplı bitki öğütme değirmeninde öğütülmüştür. Polietilen kavanozlara konulan öğütülmüş bitki örnekleri analizde kullanılmadan önce 70° C’de sabit ağırlığa gelinceye kadar kavanozların kapakları sıkıca kapatılarak kurutma dolabına bırakılmıştır. Kurutulan ve öğütülen bitki örneklerinden 0.3 g tartılarak 5 ml HNO₃ ile yüksek basınç (200 PSI) altında mikrodalga cihazında (CEM MARS XPRESS) çözündürülmüştür. Daha sonra örnekler 25 ml’lik balonjoje’ye aktarılarak soğutulularak de-iyonize H₂O ile derecesine tamamlanmıştır. Bu süzükler hemen ince gözenekli (Whatman No:42 veya mavibant) filtre kağıdı ile süzülerek 25 ml’lik polietilen şişelere aktarılmıştır ve süzükte K, Mg, Ca ve Na içerikleri ICP-AOS (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) (Varian-Vista, axiel) cihazı ile Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır (Anonim, 2004).

3.3.3. Bağlı Su İçeriği

Örnekleme dönemlerinde her bir gruptaki bitkilerden en genç sürgünlerden sonra gelen lateral yaprakların uç kısımlarından seçilen 6 adet yaprak örneği alınarak yaş ağırlıkları ölçülmüştür. 6 saat boyunca dI-H₂O içinde petri kaplarında bekletilerek turgor haline gelmeleri sağlanmıştır. 70° C’de 72 saat etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlıklar saptanmıştır. Her bir gruba ait yaprak örneklerinin bağlı su içeriği aşağıdaki formüle göre % olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Bağlı Su İçeriği (\%)} = [(YA - KA) / (TA - KA)] \times 100$$

YA=Yaş Ağırlık

KA=Kuru Ağırlık

TA=Turgorlu Ağırlık

3.3.4. Prolin İçeriğinin Belirlenmesi

Serbest prolin içeriğinin belirlenmesi sıvı fazdan aspire edilen toluen fraksiyonunun 520 nm'deki absorbansı spektrofotometreden okunmuştur. Prolin konsantrasyonu, kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış ve µmol prolin g⁻¹ taze ağırlık olarak ifade edilmiştir (Bates ve ark., 1973).

3.3.5. Hücre Zarı Geçirgenliğinin (Elektrolit Sızıntısı) Belirlenmesi

Hücre zarı geçirgenliği elektrolit sızıntısının ölçümüyle (Dionisio-Sese ve Tobita, 1998)'ya göre belirlenmiştir. Bunun için 100 mg yaprak örnekleri 5 mm uzunluğunda kesilerek 10 mL deiyonize su içeren deney tüplerine transfer edilmiştir. Tüpler plastik kapaklarla kapatıldıktan sonra 32° C'lik su banyosuna 2 saat bırakılmıştır. Ortamın elektrik iletkenliği EC metre ile ölçülmüştür (EC1) ve daha sonra örnekler 121° C'de 20 dk boyunca tüm dokuların ölmesi ve elektrolitlerin dışa çıkması için otoklavlanmıştır. Sonra örnekler 250° C'ye kadar soğutulmuş ve bu ortamın elektrik iletkenliği ölçülmüştür (EC2). Elektrolit sızıntısı ($ES = EC1/EC2 \times 100$) formüle göre hesaplanmıştır.

3.3.6. Lipit Peroksidasyonunun Belirlenmesi

Lipit peroksidasyonunun belirlenmesi TBAR reaksiyonu sonucu oluşan malondialdehit (MDA) miktarının belirlendiği yöntemle yapılmıştır. Aktivite için 532-600 nm aralığında absorbans değişimlerine bakılmıştır (Rao ve Sresty, 2000).

3.3.7. Reaktif oksijen türlerinin (ROT) analizi

3.3.7.1. Hidroksil Radikal ($\cdot OH$) Süpürülme Aktivitesinin Belirlenmesi

Hidroksil radikal iyonunun belirlenmesi (Kim ve Minamikawa, 1997)'ye göre gerçekleştirilmiştir. Bütün solüsyonlar analiz boyunca taze olarak hazırlanmıştır. Deoksiriboz ve $\cdot OH$ 'nın, Fe^{3+} / askorbat / EDTA / H_2O_2 sisteminden ürettiği örnek arasındaki rekabet $\cdot OH$ süpürülme aktivitesinin belirlenmesi için ölçülmüştür. Reaksiyon karışımı 0,30 ml 20 mM sodyum fosfat tamponu (pH 7.0), 0.15 ml 10 mM 2-deoksiriboz, 0.15 ml 10 mM $FeSO_4$, 0.15 ml 10 mM EDTA, 0.15 ml 10 mM H_2O_2 , 0.525 ml H_2O ve 0.075 ml örnek içermiştir. Karışım 37° C'de 2 saat boyunca inkübe edilmiştir. 750 μl %2.8 triklor asetik asit ve 0.75 ml %1.0 TBA, 50 mM NaOH içinde test tüplerine eklenerek ve 20 dakika boyunca tüpler kaynatılmıştır. Sonrasında karışım soğutulmuş ve 520 nm absorbansta ölçüm yapılmıştır.

3.3.7.2. Hidrojen Peroksit (H₂O₂) İçeriğinin Belirlenmesi

Hidrojen peroksit ölçümü için kullanılacak olan örnekler, hasattan hemen sonra sıvı azotta dondurularak depolanmıştır. Bitki yapraklarından alınan 0.1 g örnek 1 ml %0.1 (w/v) trikloroasetik asit (TCA) ile havanda homojenize edilmiştir. Bu karışım 15 dakika boyunca 12000 RPM'de santrifüjlenmiştir. Süpernatanttan 0,5 ml alınarak içinde 0,5 mL potasyum fosfat tamponu (10 mM, pH 7.0) ve 1 mL 1 M potasyum iyodür (Kİ) bulunan tüplere aktarılmıştır. Daha sonra spektrofotometrede 390 nm dalga boyunda absorbansları ölçülmüştür. Kör olarak % 0.1 TCA çözeltisi kullanılmıştır. H₂O₂ içeriği µmol/ g taze ağırlık olarak ifade edilmiştir (Velikova ve ark., 2000; Terzi ve ark., 2014).

3.4. Biyokimyasal Parametrelerin Ölçümü

3.4.1. Enzim Ekstraktlarının Hazırlanması

Antioksidan enzimlerin ekstraksiyonu için derin dondurucuda saklanmış olan yapraklar, soğutulmuş havanda 1 g yaprak örnekleri sıvı azotta %2 w/v polyvinylpolyrrrolidone (PVPP) ve 1 mM EDTA içeren pH 7.8'de 50 mM Na-fosfat tamponuyla homojenize edilmiştir. Filtrasyon sonrası +4° C'de, 14 000 rpm'de 30 dakika santrifüj edilmiştir. Elde edilen süpernatant, enzim aktivitesi analizlerinde kullanılmıştır. Ekstraksiyon prosedürünün tümü ±4° C'de gerçekleştirilmiştir.

3.4.2. Antioksidan Enzim Aktivite Analizleri

3.4.2.1. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesi, 560 nm'de spektrofotometrede ölçülen elektron alıcısı olan NBT (nitro blue tetrazolium)'nin fotokimyasal indirgenmesinin %50 inhibisyonuna neden olan enzim miktarı olarak belirlenmiştir. 3 ml reaksiyon karışımı; 50 mM fosfat tamponu (pH 7.8), 33 µM NBT, 10 mM L-metionin, 0.66 mM EDTA Na₂, 0.0033 mM riboflavin içermektedir. Süpernatant seyreltikten sonra karışım 10 dk 300 µmol m⁻² s⁻¹ ışık şiddeti altında bekletilmiştir. Daha sonra reaksiyon karışımının 560 nm'de verdiği absorbans değeri okunmuştur. Spesifik enzim aktivitesi U/mg protein olarak belirlenmiştir. 1 ünite SOD aktivitesi, 25°

C'de 1 dakikada 1 μmol substratı ürüne dönüştüren enzim (SOD) miktarını göstermiştir (Beauchamp ve Fridovich, 1971).

3.4.2.2. Peroksidaz (POX) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Peroksidaz (POX) enzim aktivitesi, köre karşı 465 nm'de H_2O_2 varlığında okside olan DAB (3'-3'-diaminobenzidin tetrahidroklorit) oluşum miktarına bağlı olarak 3 dakika boyunca absorbans değişimleri okunmuştur. Spesifik enzim aktivitesi dakikada tüketilen $\mu\text{mol/ml}$ H_2O_2 olarak ifade edilmiştir (Herzog ve Fahimi, 1973).

3.4.2.3. Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Katalaz (CAT) enzim aktivitesi, analiz UV ışığı bölgesinde köre karşı 240 nm'de H_2O_2 'nin azalma oranının belirlenmesi ile yapılmıştır. CAT enzim aktivitesi dakikada tüketilen μmol H_2O_2 olarak ifade edilmiştir. Reaksiyon boyunca absorbansta oluşan düşüş 180 sn boyunca takip edilmiştir (Bergmeyer, 1974).

3.4.2.4. Glutasyon Redüktaz (GR) Enziminin Aktivite Tayini

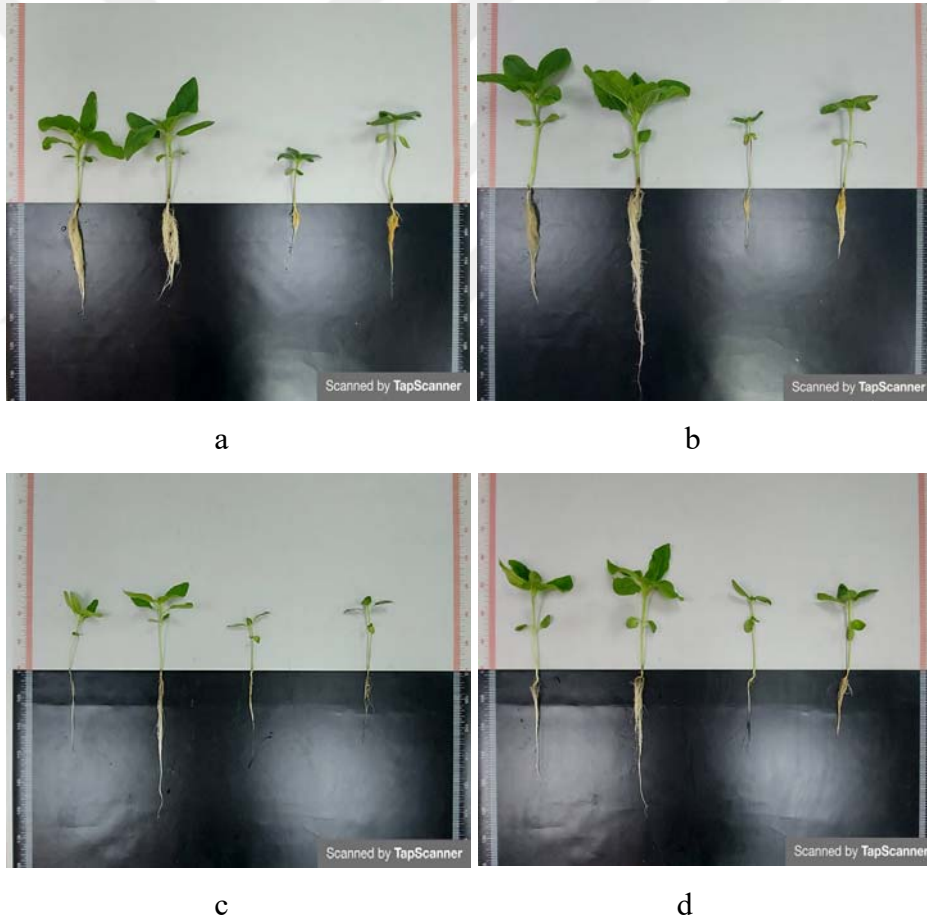
Glutasyon redüktaz (GR) aktivitesi, 340 nm'deki absorbans azalmasından yola çıkılarak hesaplanmıştır (Foyer ve Halliwell, 1976). NADPH varlığında, okside glutasyon miktarındaki azalma, kuvartz küvette köre karşı 180 sn boyunca takip edilmiştir. Hesaplamalar glutasyon redüktaz enziminin ekstinksiyon katsayısı kullanılarak yapılmıştır. Spesifik enzim aktivitesi, dakikada indirgenen 1 mmol/ml GSSG miktarı olarak ifade edilmiştir.

3.5. Verilerin İstatistiksel Analizi

Elde edilen tüm veriler tek yönlü varyans analizi (One-way analysis of variance; ANOVA) ile test edilmiştir ve ortalama değerler arasındaki farklılıklar LSD (Lowest Standard Deviations) testi ile karşılaştırılmıştır. Büyüme parametrelerinde örnek sayısı ($n=10$), diğer parametrelerde ise ($n=6$) olarak alınmıştır. $P<0,05$ noktasındaki değerler önemli derecede farklı bulunmuştur. İstatistiksel analizler SPSS for Windows: Release 11.0-standard versiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, kontrol, kontrol+NO, kuraklık ve kuraklık+NO uygulamalarına maruz kalan ayçiçeği (İrtiş, Zarya, RAR 56, RAR 133) genotipleri arasındaki farklılıkları ortaya koyacak şekilde ele alınmıştır. Kuraklık stresi koşullarında ayçiçeği tohumlarına nitrik oksit (NO) uygulamasının kuraklık stres toleransı üzerinde meydana getirdiği değişimleri incelemek amacıyla yapılan kök ve gövde boyu, kök ve gövde yaş ağırlığı, kök ve gövde kuru ağırlığı, bağıl su içeriği, K, Mg, Ca ve Na analizi, SOD, CAT, POX, GR enzim aktiviteleri, lipid peroksidasyonu, prolin, hücre zarı geçirgenliği, hidroksil radikal ($\cdot\text{OH}$) süpürülme aktivitesi, hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriği analizi sonuçları aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.



Resim 4.1. a – İrtiş, b – Zarya, c – RAR 56, d – RAR 133 genotiplerine ait hasat sonrası resimler

4.1 Büyüme Parametreleri Bulguları

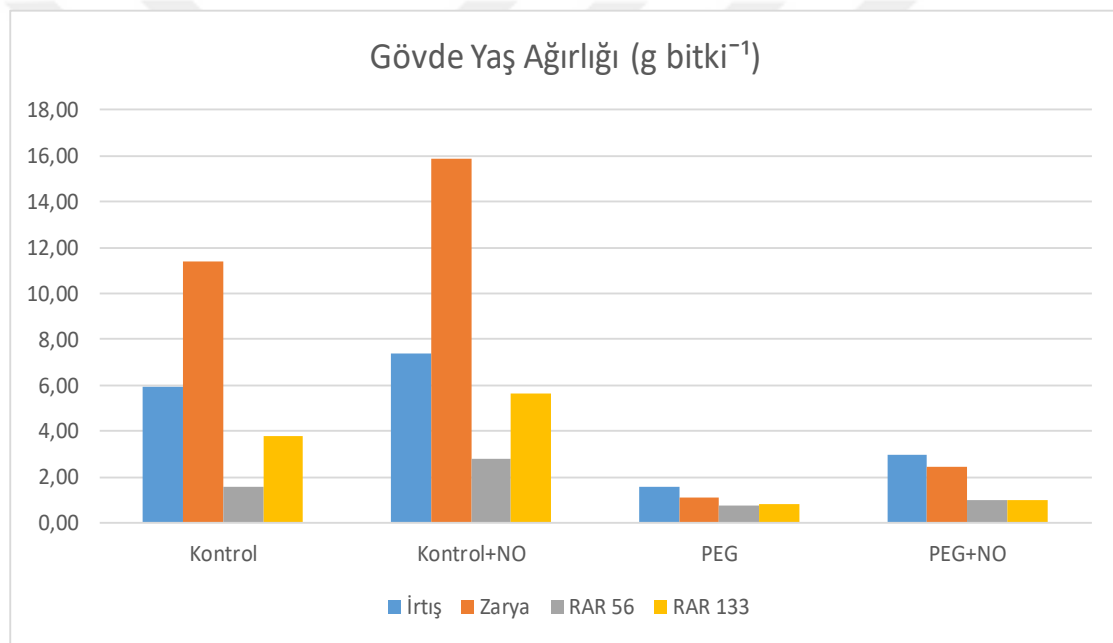
Ayçiçeği genotiplerinin kuraklık stresi koşullarında nitrik oksit uygulamasının bitkilerde gövde ve kök yaş ağırlığı, gövde ve kök kuru ağırlığı, gövde ve kök boyu değerlerine ait ortalamalar sırasıyla Çizelge 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da bu değerlere ait grafikler sırasıyla Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

4.1.1. Gövde ve Kök Yaş Ağırlığı

Varyans analiz sonuçlarına göre, gövde yaş ağırlığı değerleri kontrol+NO uygulamasında Zarya genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol+NO uygulamasıyla gövde yaş ağırlığı değerleri kontrole göre ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinde sırasıyla %24 ve %39 oranında artarken, saf hat RAR 133 genotipinde %50 ve en yüksek artış RAR 56 genotipinde %81 oranında tespit edilmiştir. PEG uygulaması yapılan koşullarda kontrole göre saf hat RAR 56 ve RAR 133, ticari hat İrtiş genotiplerinin gövde yaş ağırlıklarında sırasıyla %52, %78, %73 oranlarında azalışlar meydana gelirken, en yüksek azalış ticari hat Zarya genotipinde %91 oranında meydana gelmiştir. Gövde yaş ağırlığı değerlerinde PEG+NO uygulamasının yapıldığı koşullarda kontrole kıyasla ticari hat İrtiş genotipinde %50 ve Zarya genotipinde %79, saf hat RAR 56 genotipinde %35 ve RAR 133 genotipinde %73 oranında azalmalar belirlenmiştir. PEG ile PEG+NO uygulamalarının yapıldığı gruplar kıyaslandığında gövde yaş ağırlığı değerlerinde ticari hat İrtiş, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %89, %34 ve %20 oranında artışlar görülürken, en yüksek artış ticari hat Zarya genotipinde %126 oranında belirlenmiştir (Çizelge 4.3, Şekil 4.3).

Çizelge 4.1. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde yaş ağırlığı değerleri (g bitki⁻¹)

Gövde Yaş Ağırlığı (g bitki ⁻¹)														
Dozlar	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133		Ort.					
	g bitki ⁻¹	%	g bitki ⁻¹	%	g bitki ⁻¹	%	g bitki ⁻¹	%						
Kontrol	5.94	D	11.41	b	1.55	J	3.75	f	5.66		B			
Kontrol+NO	7.37	C	24	15.89	a	39	2.81	h	81	5.63	e	50	7.93	A
PEG	1.58	J	-73	1.08	k	-91	0.75	n	-52	0.83	m	-78	1.06	D
PEG+NO	2.99	G	-50	2.45	i	-79	1.00	l	-35	1.00	l	-73	1.86	C
Ort.	4.47	B		7.71	a		1.53	d		2.80	c			



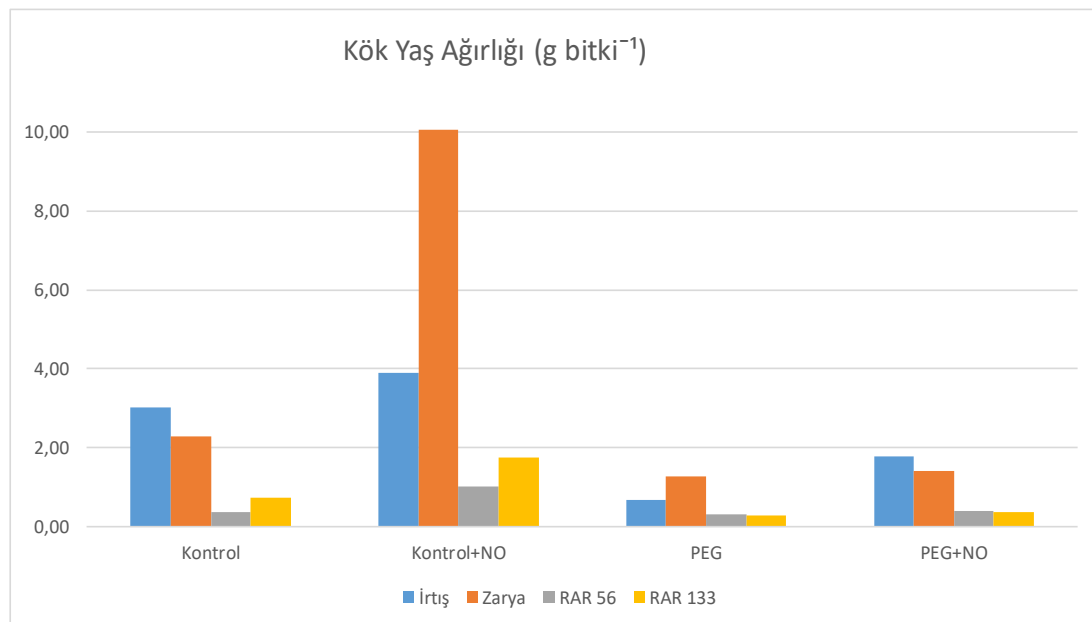
Şekil 4.1. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde yaş ağırlığı değerleri (g bitki⁻¹)

Ayçiçeği genotiplerinin kök yaş ağırlıklarının bitki yaş ağırlıklarındaki değişimlerden farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, kök yaş ağırlığı değerleri kontrol+NO uygulamasında Zarya genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol grubuna nitrik oksit ilave edilen gruplarda kontrole göre kök yaş ağırlığında ticari hat İrtiş genotipinde %29, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %183, %135 oranlarında artışlar ve ticari hat Zarya genotipinde %337 oranında en yüksek artış belirlenmiştir. PEG uygulamasıyla kontrole göre ticari hat Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök yaş ağırlıklarında sırasıyla

%45, %12 ve %62 oranında azalma olurken, en yüksek azalma ticari hat İrtiş genotipinde %77 oranında olduğu tespit edilmiştir. PEG+NO uygulamasıyla kontrole göre kök yaş ağırlık değerleri ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinde sırasıyla %41 ve %38 azalırken, saf hat RAR 133 genotipinde en yüksek %49 oranında azalma görülmüş ve saf hat RAR 56 genotipinde %11 oranında artış tespit edilmiştir. PEG ile PEG+NO uygulamalarının yapıldığı gruplar kıyaslandığında kök yaş ağırlığı değerleri ticari hat Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %12, %26 ve %36 oranında artışlar olurken, en yüksek artış ticari hat İrtiş genotipinde %157 oranında olduğu görülmüştür (Çizelge 4.2, Şekil 4.2).

Çizelge 4.2. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök yaş ağırlığı değerleri (g bitki⁻¹)

Dozlar	Kök Yaş Ağırlığı (g bitki ⁻¹)								Ort.	
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133			
	g bitki ⁻¹	%	g bitki ⁻¹	%	g bitki ⁻¹	%	g bitki ⁻¹	%		
Kontrol	3.02	c	2.30	d	0.36	g	0.74	g	1.61	b
Kontrol+NO	3.91	b	10.04	a	1.03	g	1.75	ef	4.18	a
PEG	0.69	g	1.26	f	0.32	g	0.28	g	0.64	d
PEG+NO	1.77	e	1.42	ef	0.40	g	0.38	g	0.99	c
Ort.	2.35	b	3.75	a	0.53	d	0.79	c		



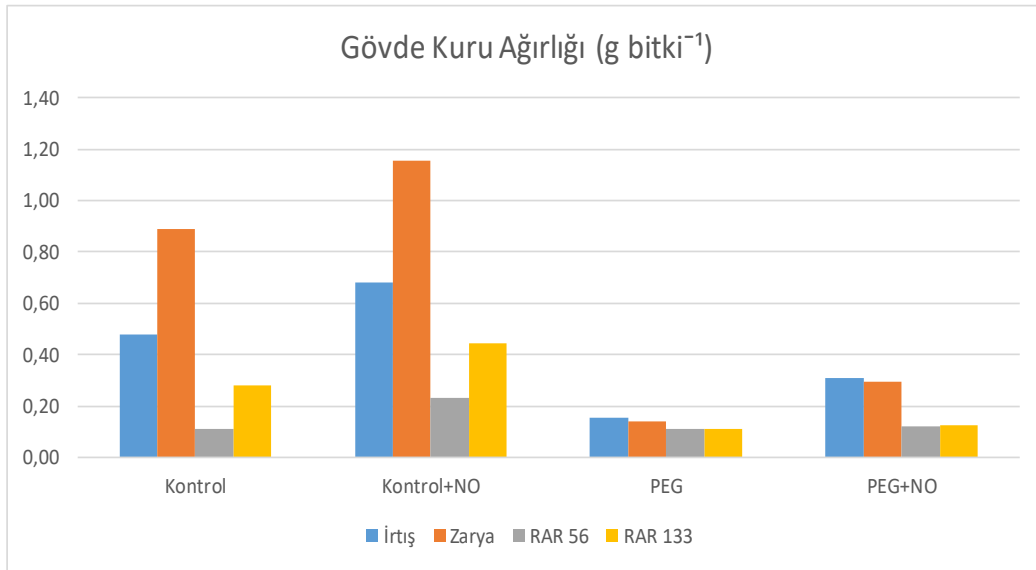
Şekil 4.2. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök yaş ağırlığı değerleri (g bitki⁻¹)

4.1.2. Gövde ve Kök Kuru Ağırlığı

Araştırmada kullanılan ayçiçeği genotiplerinin gövde kuru ağırlık değerlerinde uygulamardan kaynaklı değişimler meydana gelmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, gövde kuru ağırlığı değerleri kontrol+NO uygulamasında Zarya genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol grubuna nitrik oksit uygulaması yapılan koşullarda kontrole göre gövde kuru ağırlığı değerleri ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %42, %30, %59 oranlarında artış görülürken, saf hat RAR 56 genotipi %104 oranında en yüksek artış sergilediği tespit edilmiştir. PEG uygulamasıyla gövde kuru ağırlıklarında kontrol grubuna kıyasla ticari hat İrtiş'ta %67 ve Zarya'da %84 oranlarında saf hatlara göre daha fazla azalma gerçekleşirken, saf hat RAR 56'da %2 ve RAR 133 genotipinde %60 oranında azalma olmuştur. PEG+NO uygulaması yapılan gruplarda kontrole göre gövde kuru ağırlık değerlerinde ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %36, %67 ve %56 oranlarında azalma olurken, saf hat RAR 56 genotipinde %7 oranında artış olmuştur. PEG ile PEG+NO grubu kıyaslandığında gövde kuru ağırlıkları ticari hatlarda saf hatlara göre daha fazla artışlar gerçekleşmiştir, Bu artışlar İrtişta %96 ve Zaryada %108 oranlarında olurken, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %8 ve %10 oranında artışlar olurken gözlemlenmiştir (Çizelge 4.3, Şekil 4.3).

Çizelge 4.3. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde kuru ağırlığı değerleri (g bitki⁻¹)

Dozlar	Gövde Kuru Ağırlığı (g bitki ⁻¹)													
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133		Ort.					
	g bitki ⁻¹	%	g bitki ⁻¹	%	g bitki ⁻¹	%	g bitki ⁻¹	%						
Kontrol	0.48	<i>d</i>	0.89	<i>b</i>	0.11	<i>h</i>	0.28	<i>e</i>	0.44	<i>b</i>				
Kontrol+NO	0.68	<i>c</i>	42	1.15	<i>a</i>	30	0.23	<i>f</i>	104	0.45	<i>d</i>	59	0.63	<i>a</i>
PEG	0.16	<i>g</i>	-67	0.14	<i>gh</i>	-84	0.11	<i>h</i>	-2	0.11	<i>h</i>	-60	0.13	<i>d</i>
PEG+NO	0.31	<i>e</i>	-36	0.29	<i>e</i>	-67	0.12	<i>h</i>	7	0.12	<i>h</i>	-56	0.21	<i>c</i>
Ort.	0.41	<i>b</i>	0.62	<i>a</i>	0.14	<i>d</i>	0.24	<i>c</i>						

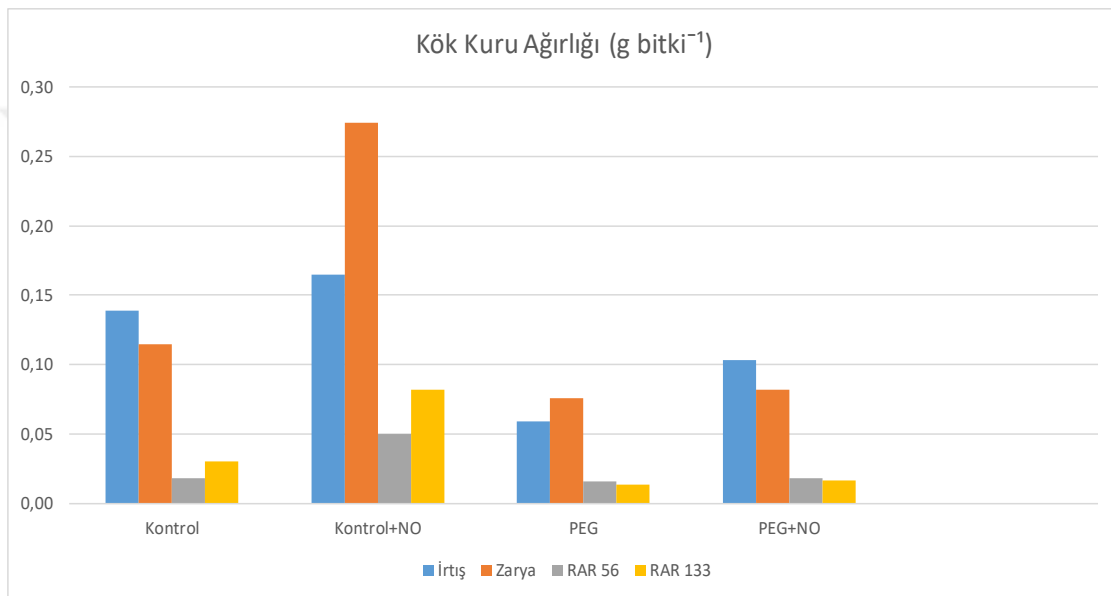


Şekil 4.3. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde kuru ağırlığı değerleri (g bitki⁻¹)

Varyans analiz sonuçlarına göre, kök kuru ağırlığı değerleri kontrol+NO uygulamasında Zarya genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol koşullarında nitrik oksit uygulamasıyla kök kuru ağırlık değerlerinde kontrole göre ticari hat İrtiş genotipinde %19 ve Zarya genotipinde %140 oranında artışlar tespit edilmiştir. Saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök kuru ağırlıklarında nitrik oksit uygulamasıyla ticari hatlara göre daha fazla artış (%170) sağlanmıştır. PEG uygulamasının yapıldığı koşullarda kök kuru ağırlık değerlerinde kontrole göre ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinde %57 ve %34 oranında azalmalar gerçekleşmiştir ve bu azalmaların saf hatlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. PEG uygulanan koşullarda saf hat RAR 133 genotipinin kök kuru ağırlığında kontrole göre %55 oranında azalma belirlenirken, en düşük azalma saf hat RAR 56 genotipinde %15 oranında tespit edilmiştir. PEG+NO grubunda kontrole göre kök kuru ağırlığı değerlerinde ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinde sırasıyla %26 ve %29 oranında azalış olurken, saf hat RAR 56 genotipinde %3 oranında en minimum ve saf hat RAR 133 genotipinde %44 oranında en maksimum azalma tespit edilmiştir (Çizelge 4.4, Şekil 4.4).

Çizelge 4.4. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök kuru ağırlığı değerleri (g bitki⁻¹)

Dozlar	Kök Kuru Ağırlığı (g bitki ⁻¹)								Ort.					
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133							
	g bitki ⁻¹	%	g bitki ⁻¹	%	g bitki ⁻¹	%	g bitki ⁻¹	%						
Kontrol	0.139	bc	0.114	cd	0.018	i	0.030	hi	0.08	b				
Kontrol+NO	0.165	b	19	0.275	a	140	0.050	gh	170	0.082	def	170	0.14	a
PEG	0.059	fgh	-57	0.076	efg	-34	0.016	i	-15	0.014	i	-55	0.04	d
PEG+NO	0.103	cd	-26	0.082	ef	-29	0.018	i	-3	0.017	i	-44	0.05	c
Ort.	0.12	b		0.14	a		0.03	c		0.04	c			



Şekil 4.4. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök kuru ağırlığı değerleri (g bitki⁻¹)

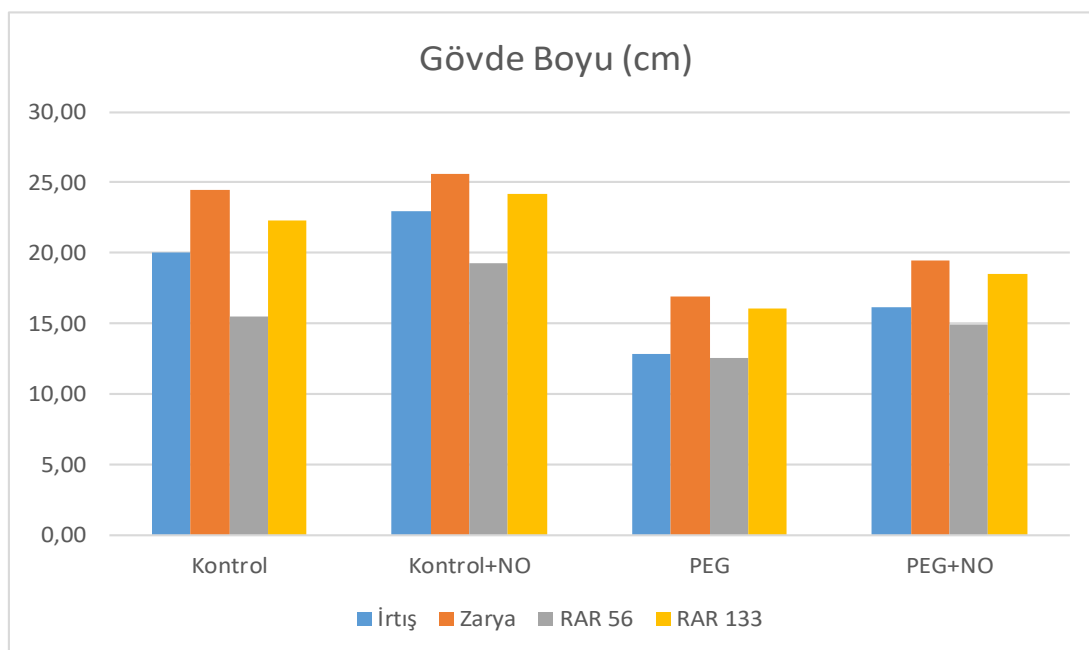
4.1.2. Gövde ve Kök Boyu

Ayçiçeği genotiplerinin gövde boyu değerlerinde uygulamalara bağlı olarak farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, gövde boyu değerleri kontrol+NO uygulamasında Zarya genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol+NO grubunda gövde boyu değerleri kontrole göre ticari hat İrtiş genotipinde %15 ve Zarya genotipinde %4, saf hat RAR 133 genotipinde %9 ve en yüksek artış %25 oranında RAR 56 genotipinde sergilenmiştir. PEG uygulamasına bağlı olarak dört ayçiçeği genotipinin gövde boyu değerlerinin azalma gösterdiği ve bu azalmanın ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinde saf hatlara göre daha fazla oranlarda olduğu belirlenmiştir. Bu azalmalar; saf hat RAR 56 genotipinde %19 ve RAR 133 genotipinde

%28 oranlarında, ticari hat Zarya genotipinde %31 ve en yüksek azalma %36 oranında İrtiş genotipinde tespit edilmiştir. PEG+NO uygulamasıyla ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinin gövde boylarında kontrole göre birbirine yakın değerlerde %20 ve %21 oranında azalış görülürken, saf hat RAR 133 genotipinde %17 ve en düşük azalma %3 oranında RAR 56 genotipinde tespit edilmiştir. PEG+NO grubuyla PEG grubu mukayese edildiğinde gövde boyunda saf hat RAR 56'da %19, ticari hat Zarya ve saf hat RAR 133 genotiplerinde aynı değerde %15 oranında artışlar olurken, ticari hat İrtiş genotipinde %26 oranında en yüksek artış olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.5, Şekil 4.5).

Çizelge 4.5. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde boyu değerleri (cm)

Dozlar	Gövde Boyu (cm)								Ort.					
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133							
	cm bitki ⁻¹	%	cm bitki ⁻¹	%	cm bitki ⁻¹	%	cm bitki ⁻¹	%						
Kontrol	20.00	cd	24.50	ab	15.43	g	22.3	bc	20.55	<i>b</i>				
Kontrol+NO	23.00	b	15	25.60	a	4	19.25	de	25	24.2	ab	9	23.00	<i>a</i>
PEG	12.80	h	-36	16.87	efg	-31	12.5	h	-19	16	g	-28	14.54	<i>d</i>
PEG+NO	16.10	fg	-20	19.43	d	-21	14.9	gh	-3	18.5	def	-17	17.23	<i>c</i>
Ort.	17.98	<i>c</i>		21.60	<i>a</i>		15.52	<i>d</i>		20.23	<i>b</i>			

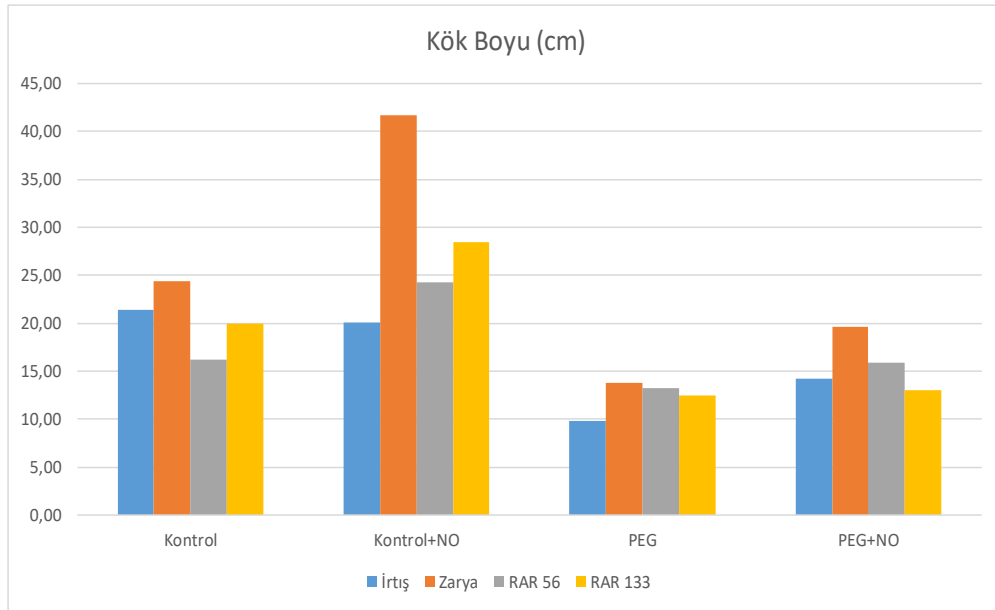


Şekil 4.5. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde boyu değerleri (cm)

Ayçiçeği genotiplerinin kök boyu uzunluklarında uygulamalara bağlı değişimlerin olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, kök boyu değerleri kontrol+NO uygulamasında Zarya genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol+NO uygulamasıyla kök boyu değerlerinde kontrole göre ticari hat İrtiş genotipinde %6 oranında azalış görülürken, saf hat RAR 56 genotipinde %49 ve RAR 133 genotipinde %43 oranında artışlar olduğu ve en yüksek artış %71 oranında ticari hat Zarya genotipinde tespit edilmiştir. PEG grubunda dört ayçiçeği genotipinin kök boyu değerlerinde azalma görüldüğü ve bu azalmanın ticari hat İrtiş (%54) ve Zarya (%43) genotiplerinde saf hatlara göre daha fazla oranlarda olduğu belirlenmiştir. Saf hat RAR 56 genotipinde %19 ve RAR 133 genotipinde %38 oranında azalmalar belirlenmiştir. PEG+NO uygulamasının yapıldığı koşullarda kök boyunda kontrole göre ticari hat İrtiş ve RAR 133 genotiplerinde birbirine yakın oranlarda (%34 ve %35) azalma olurken, ticari hat Zarya genotipinde %19 ve saf hat RAR 56 genotipinde %3 oranında en düşük azalma meydana gelmiştir. PEG+NO ve PEG grupları kıyaslandığında kök boyunda ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinde (%45 ve %42) saf hatlara göre daha fazla artış sağlanırken, saf hat RAR 56 genotipinde %19 ve RAR 133 genotipinde %4 oranında artışlar sağlandığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.6, Şekil 4.6).

Çizelge 4.6. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök boyu değerleri (cm)

Dozlar	Kök Boyu (cm)										Ort.			
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133		Ort.					
	cm	%	cm	%	cm	%	cm	%						
Kontrol	21.40	<i>d</i>	24.40	<i>c</i>	16.27	<i>e</i>	20	<i>d</i>	20.52	<i>b</i>				
Kontrol+NO	20.10	<i>d</i>	-6	41.63	<i>a</i>	71	24.25	<i>c</i>	49	28.5	<i>b</i>	43	28.62	<i>a</i>
PEG	9.80	<i>h</i>	-54	13.83	<i>efg</i>	-43	13.25	<i>efg</i>	-19	12.5	<i>gh</i>	-38	12.35	<i>d</i>
PEG+NO	14.20	<i>efg</i>	-34	19.67	<i>d</i>	-19	15.85	<i>ef</i>	-3	13	<i>fg</i>	-35	15.68	<i>c</i>
Ort.	16.38	<i>c</i>	24.88	<i>a</i>	17.40	<i>bc</i>	18.50	<i>b</i>						



Şekil 4.6. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin kök boyu değerleri (cm)

Bu tez çalışmasında kontrol ve kurak koşullar altında NO uygulamalarının ayçiçeği genotiplerine etkileri araştırılmıştır. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 ayçiçeği genotiplerine kontrollü koşullarda NO muamelesiyle bitki gövde-kök yaş ve kuru ağırlık değerlerinde, gövde-kök boylarında artışların görüldüğü belirlenmiştir. NO ilavesiyle gövde boyu, gövde yaş ve kuru ağırlık değerlerinde kontrole göre en yüksek artış saf hat RAR 56 genotipinde belirlenmiştir. Ayrıca kök boyu ve kök yaş ağırlık değerlerinde en yüksek artış ticari hat Zarya genotipinde görülürken, kök kuru ağırlık değerlerinde en yüksek artış RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde meydana gelmiştir.

PEG uygulamasıyla bitki gövde ve kök yaş ağırlık, gövde ve kök kuru ağırlık, gövde ve kök boyu değerlerinde kontrole göre azalışlar belirlenmiştir. Bu azalışların ticari hatlarda saf hatlara göre daha fazla oranlarda olduğu ortaya konulmuştur. Saf hatlar kendi aralarında değerlendirildiğinde PEG uygulama grupları kontrole göre tüm büyüme parametrelerinde RAR 133 genotipinde daha fazla azalışlar sergilemiştir. Kuraklık uygulamalarında ticari hatlar kendi aralarında kıyaslandığında Zarya genotipi gövde yaş ve kuru ağırlığı değerlerinde daha fazla azalışlar gösterirken, gövde ve kök boyu, kök yaş ve kuru ağırlığı değerlerinde İrtiş genotipi daha fazla azalışlar sergilemiştir.

Çalışmamızda PEG+NO grubunda kontrollü koşullara kıyasla gövde ve kök boyu, gövde ve kök yaş ağırlıkları, kök kuru ağırlığı değerlerinde saf hatlardan RAR 56

genotipinde ticari hatlara göre minimum azalmalar belirlenmiştir. PEG+NO uygulamasıyla gövde kuru ağırlık değerlerinde kontrole göre saf hatlardan RAR 56 genotipinde artışlar sağlanmıştır. Kurak şartlarda NO uygulamasıyla ticari hatlarda gövde boyu, gövde yaş, gövde ve kök kuru ağırlıklarında İrtış genotipinde Zarya genotipine göre daha düşük azalmalar görülürken, kök boyu ve kök yaş ağırlık değerlerinde Zarya genotipinde daha düşük azalmalar tespit edilmiştir.

PEG+NO uygulamasıyla sadece PEG uygulanan grup mukayese edildiğinde tüm büyüme parametrelerinde saf hatlara göre ticari hatlarda daha yüksek artışlar elde edilmiştir. Ticari hatlar kendi aralarında değerlendirildiğinde gövde ve kök boyu, kök yaş ağırlık ve kök kuru ağırlık değerlerinde İrtış genotipi daha fazla artış gösterirken, Zarya genotipi gövde yaş ağırlık ve gövde kuru ağırlıklarında daha fazla artışlar sağlamıştır. Saf hatlarda RAR 56 genotipi gövde ve kök boyu, gövde yaş ağırlıklarında daha fazla artışlar gösterirken, kök yaş, gövde ve kök kuru ağırlıklarında RAR 133 genotipinde daha fazla artış sergilenmiştir.

Farklı ayçiçeği çeşitlerinde kuraklıktan kaynaklı bitki biyokütlesi, gövde-kök boyu, kuru ağırlık içeriklerinde düşüşlerin gerçekleştiğini gösteren çok sayıda araştırmalar mevcuttur (Bani-Abbas ve ark., 2012; Vassilevska-Ivanova ve ark., 2014; Ahmad ve ark., 2016; Canarini ve ark., 2016; Hussain ve ark., 2017; Shehzad ve ark., 2018; Almeida ve ark., 2020; Shehzad ve ark., 2020). Kuraklık stresi koşullarında ayçiçeği hibritlerinin bitki taze ve kuru ağırlığında azalma görülmüştür (Qamar ve ark., 2018). Çeşitli bitki gruplarında kurak koşullar altında yapılmış denemelerde bitkilerin gövde-kök boyunda, gövde ve kök yaş, kuru ağırlık içeriklerinde azalmalar görüldüğü bildirilmiştir (Akram ve ark., 2018; Ekinci ve ark., 2020; Rezayian ve ark., 2020; Elkelish ve ark., 2021). Kurak koşullarda buğday bitkisi üzerinde yürütülen bir çalışmada kuraklık uygulaması sonucu sürgün boyu ve taze ağırlık, kuru ağırlık değerlerinde azalmalar gözlemlenmiştir (Yayık, 2017). Üç farklı buğday genotipi üzerinde yapılan bir çalışmada nitrik oksit uygulamasıyla bitkilerin büyüme parametrelerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir (Kavuncu, 2019). Diğer bir çalışmada da nitrik oksit, kuraklık stresinin yaş ve kuru ağırlıkları, genel bitki büyümesi üzerine olumsuz etkilerini azaltmıştır (Ekinci ve ark., 2020; Elkelish ve ark., 2021). Kurak koşullarda karpuz genotiplerinde NO uygulama grubu bitkilerde gövde-kök boyu değerlerinde, yaş ve kök kuru ağırlık içeriklerinde artışlara sebep olduğu belirtilmiştir (Avşaroğlu, 2016). Ayçiçeği genotiplerinde çinko toksisitesine bağlı oksidatif hasara karşı korunmada SNP uygulamasının bitkinin büyüme parametrelerinde artışlar

sağladığı ortaya konulmuştur (Akladiou ve Mohamed, 2017). Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçlar yukarıdaki araştırma sonuçları ile desteklenmektedir.

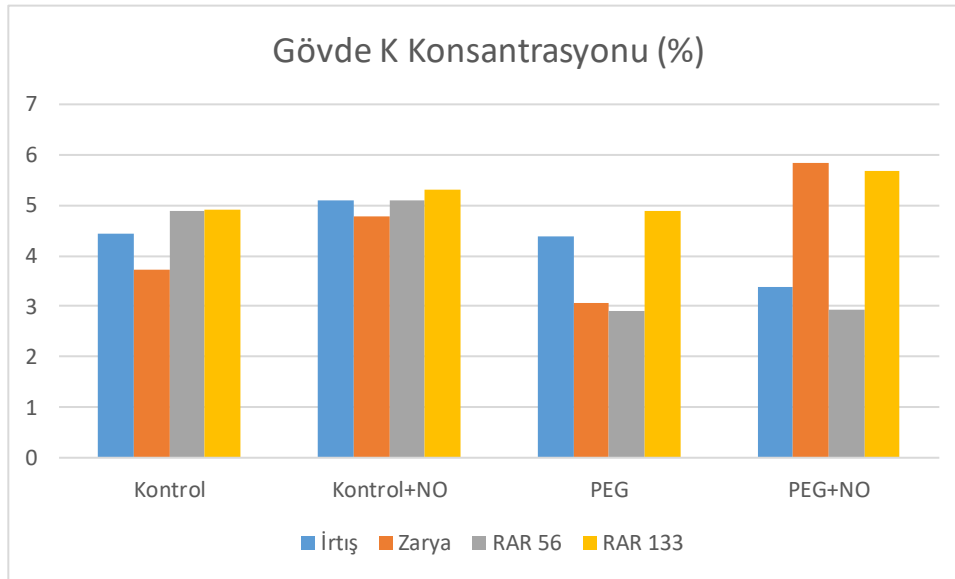
4.2. K, Mg, Ca ve Na Konsantrasyonu Bulguları

4.2.1. Gövde K Konsantrasyonu

Ayçiçeği genotiplerinin gövde K konsantrasyonlarında uygulamalardan kaynaklı değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, gövde K konsantrasyonu PEG+NO uygulamasında Zarya ve RAR 133 genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol+NO grubunda gövde K konsantrasyonu kontrole kıyasla ticari hatlarda saf hatlara göre daha fazla artmıştır ve ticari hat Zarya genotipinde en yüksek %28 ve İrtiş'ta %14 oranında artarken, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde %4 ve %8 oranlarında artışlar belirlenmiştir. PEG uygulamasında kontrol grubuna göre gövde K konsantrasyonunda ticari hat İrtiş'ta ve saf hat RAR 133'te aynı değerde %1, ticari hat Zarya'da %17 azalırken, saf hat RAR 56 genotipinde ticari hatlardan daha fazla %41 oranında azalma gerçekleşmiştir. PEG+NO grubunda kontrole göre ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 56 genotiplerinin gövde K miktarı %24 ve %40 azalırken, ticari hat Zarya ve saf hat RAR 133 genotiplerinde %57 ve %16 oranlarında artışların olduğu tespit edilmiştir. PEG uygulama grubuna göre PEG+NO grubunda K konsantrasyonu ticari hat İrtiş genotipinde %23 oranında azalırken, ticari hat Zarya ve saf hat RAR 133 genotiplerinde %89 ve %16 oranında artmıştır ve saf hat RAR 56 genotipinde önemli değişim (%0,88) göstermediği belirlenmiştir (Çizelge 4.7, Şekil 4.7).

Çizelge 4.7. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde K konsantrasyonu (%)

Dozlar	Gövde K Konsantrasyonu (%)												Ort.	
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133		Ort.					
	%		%		%		%							
Kontrol	4.43	abcde	3.71	bcde	4.89	abcd	4.91	abc	4.49	ab				
Kontrol+NO	5.09	abc	14.8	4.77	abcd	28	5.09	abc	4	5.30	ab	8	5.06	a
PEG	4.39	abcde	-1	3.08	de	-	2.90	E	-	4.88	abcd	-1	3.81	b
PEG+NO	3.39	cde	-24	5.82	a	57	2.93	E	-	5.67	a	16	4.45	ab
Ort.	4.33	B		4.35	b		3.95	B		5.19	a			



Şekil 4.7. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde K konsantrasyonu (%)

Araştırmada kontrol grubuna nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda ayçiçeği genotiplerinin K içeriklerinde kontrole kıyasla artışlar sağlanmıştır, bu artışların saf hatlara göre ticari hatlarda daha fazla olduğu ve en yüksek artış ticari hat Zarya genotipinde görüldüğü belirlenmiştir. Kurak koşullarda dört genotipin de K içeriklerinde kontrole göre azalmalar oluşmuştur ve en fazla azalma oranı saf hat RAR 56 genotipinde saptanmıştır. Kurak koşullarda nitrik oksit uygulamasıyla K içeriklerinde kontrole göre ticari hat Zarya ve saf hat RAR 133 genotiplerinde artışlar gerçekleşirken, ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 56 genotiplerinde azalmalar meydana gelmiştir. PEG+NO grubu uygulamalarıyla kuraklığa göre genel anlamda artışlar oluşmuştur ve ticari hat Zarya genotipinde en yüksek artış sergilenmiştir, buna karşın ticari hat İrtiş genotipinde azalma görülmüştür.

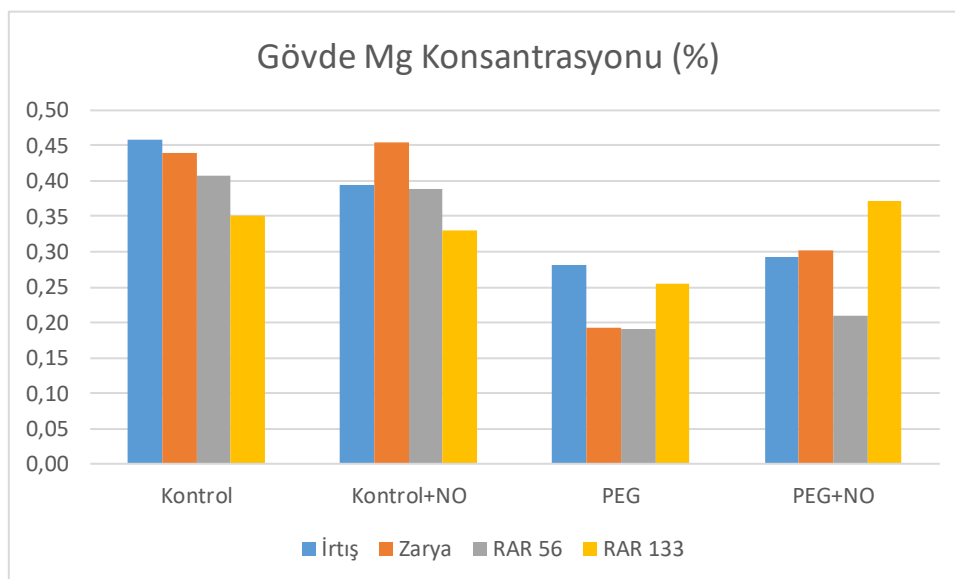
4.2.2. Gövde Mg Konsantrasyonu

Ayçiçeği genotiplerinin gövde Mg konsantrasyonu değerlerinde uygulamalardan kaynaklı değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Kontrol+NO uygulamalarında gövde Mg konsantrasyonu kontrole göre ticari hat Zarya genotipinde %3 oranında artarken, ticari hat İrtiş, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %14, %5 ve %6 oranlarında azalmalar göstermiştir. PEG uygulamasında kontrol grubuna göre ticari hat Zarya ve saf hat RAR 56 genotiplerinin gövde Mg konsantrasyonu birbirine yakın

değerlerde (%56 ve %53) azalırken, ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 133 genotiplerinde %38 ve %27 oranında azalmaların olduğu tespit edilmiştir. PEG+NO grubunda kontrole göre saf hat RAR 133 genotipinin gövde Mg miktarında %6 artış sağlanırken, ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 genotiplerinde sırasıyla %36, %31 ve %48 oranlarında azalmalar gerçekleşmiştir. PEG+NO uygulama grubu ile PEG uygulanan grup kıyaslandığında Mg konsantrasyonuna ait değerlerin ticari hat İrtiş, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %3, %10 ve %45 oranlarında artarken, en fazla artış ticari hat Zarya’da %56 oranında tespit edilmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.8).

Çizelge 4.8. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde Mg konsantrasyonu (%)

Dozlar	Gövde Mg Konsantrasyonu (%)								Ort.					
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133							
	%	%	%	%	%	%	%	%						
Kontrol	0.46	<i>a</i>	0.44	<i>ab</i>	0.41	<i>abc</i>	0.35	<i>cde</i>	0.41	<i>a</i>				
Kontrol+NO	0.39	<i>abc</i>	-14	0.45	<i>ab</i>	3	0.39	<i>abc</i>	-5	0.33	<i>cdef</i>	-6	0.39	<i>a</i>
PEG	0.28	<i>efg</i>	-38	0.19	<i>h</i>	-56	0.19	<i>H</i>	-53	0.25	<i>fgh</i>	-27	0.23	<i>b</i>
PEG+NO	0.29	<i>defg</i>	-36	0.30	<i>def</i>	-31	0.21	<i>gh</i>	-48	0.37	<i>bcd</i>	6	0.29	<i>c</i>
Ort.	0.36	<i>a</i>		0.35	<i>a</i>		0.30	<i>b</i>		0.33	<i>ab</i>			



Şekil 4.8. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde Mg konsantrasyonu (%)

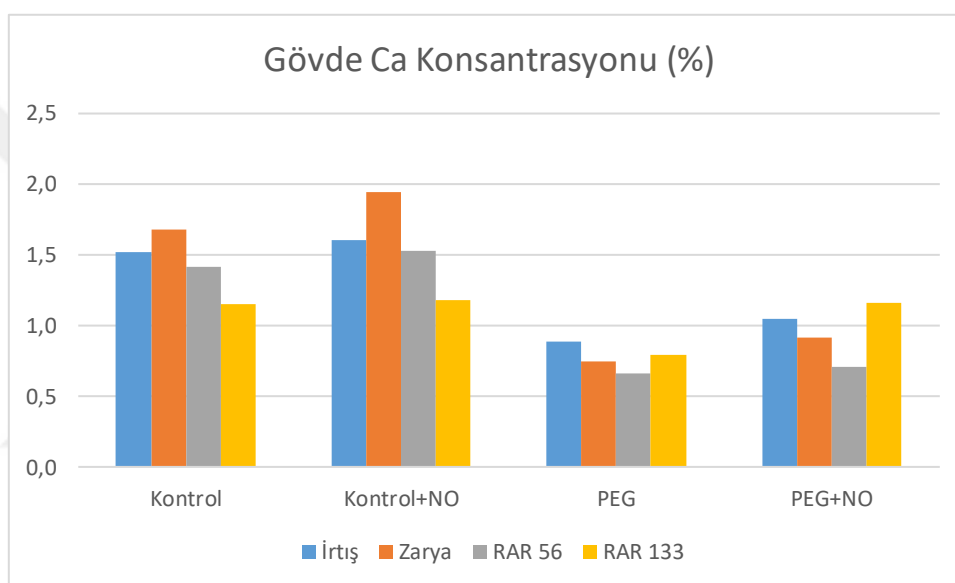
Araştırmada kontrol grubuna nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda ayçiçeği genotiplerinin Mg içeriklerinde kontrole göre azalışlar görülmüştür, sadece ticari hat Zarya genotipinde artış oluşmuştur. Kurak koşullarda dört genotipin de Mg içeriklerinde kontrole göre azalmalar olduğu ve bu azalmalardan saf hatlara göre ticari hatların fazla etkilendiği ortaya konulmuştur. Kurak koşullarda en yüksek azalma oranı ticari hat Zarya genotipinde saptanmıştır. Kurak koşullarda nitrik oksit uygulamasıyla Mg içeriklerinde kontrole göre azalmalar gözlenmiştir, sadece saf hat RAR 133 genotipinde artışlar belirlenmiştir. Bu azalmaların kurak koşullarda oluşan azalmalardan daha düşük olduğu belirlenmiştir.

4.2.3. Gövde Ca Konsantrasyonu

Ayçiçeği genotiplerinin gövde Ca konsantrasyonu değerlerinde uygulamalardan kaynaklı değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, gövde Ca konsantrasyonu kontrol+NO uygulamasında Zarya genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol+NO uygulamalarında gövde Ca konsantrasyonu kontrole göre ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %6, %16, %8 ve %2 oranlarında artmıştır. PEG uygulanan koşullarda kontrol grubuna göre ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde gövde Ca konsantrasyonunda sırasıyla %46, %56, %53 ve %31 oranlarında azalmaların olduğu belirlenmiştir. Bu durumda kuraklık koşullarından ticari hat Zarya ve saf hat RAR 56 genotipleri fazla etkilendiği görülmüştür. PEG+NO grubunda kontrole göre saf hat RAR 133 genotipinin gövde Ca miktarında az da olsa %1 oranında artış olurken, ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 genotiplerinde sırasıyla %31, %45 ve %50 oranlarında azalmaların olduğu tespit edilmiştir. PEG+NO uygulaması ile PEG uygulaması kıyaslandığında Ca konsantrasyonuna ait değerlerin tüm genotiplerde artış gösterdiği ve bu artışların ticari hat İrtiş'ta %18, Zarya'da %22 ve en yüksek artış saf hat RAR 133'te %45 oranında olduğu görülmüştür (Çizelge 4.9, Şekil 4.9).

Çizelge 4.9. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde Ca konsantrasyonu (%)

Gövde Ca Konsantrasyonu (%)										
Dozlar	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133		Ort.	
	%	%	%	%	%	%	%	%		
Kontrol	1.52	bc	1.67	ab	1.41	Bcd	1.15	de	1.44	<i>a</i>
Kontrol+NO	1.60	ab	1.95	a	1.52	bc	1.18	cde	1.56	<i>a</i>
PEG	0.89	efg	0.74	fg	0.66	g	0.80	fg	0.77	<i>c</i>
PEG+NO	1.05	ef	0.91	efg	0.71	fg	1.16	de	0.96	<i>b</i>
Ort.	1.26	<i>a</i>	1.32	<i>a</i>	1.08	<i>b</i>	1.07	<i>b</i>		



Şekil 4.9. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde Ca konsantrasyonu (%)

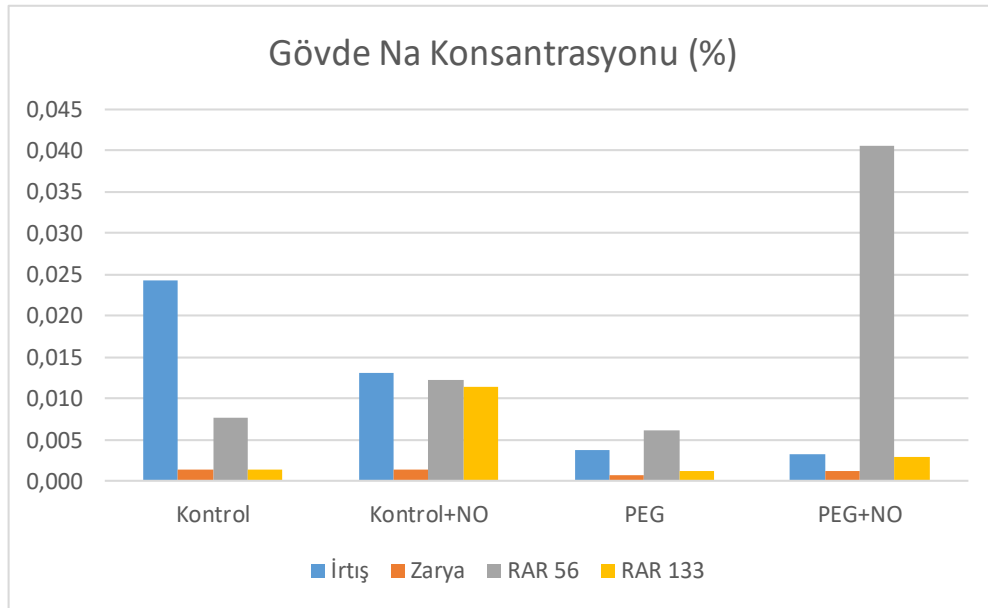
Araştırmada kontrol grubuna nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda ayçiçeği genotiplerinin Ca içeriklerinde kontrole göre artışlar sağlanmıştır, en yüksek artış ticari hat Zarya genotipinde görülmüştür. Kurak koşullarda dört genotipin de Ca içeriklerinde kontrole göre azalmalar oluşmuştur ve en yüksek azalma oranı yakın değerlerde ticari hat Zarya ve saf hat RAR 56 genotipinde saptanmıştır. Kurak koşullarda nitrik oksit uygulamasıyla Ca içeriklerinde kontrole göre azalmalar ve sadece saf hat RAR 133 genotipinde az da olsa (%1) artış olmuştur. PEG+NO uygulamasıyla PEG grubuna kıyasla Ca içeriklerinde artışlar görülmüştür ve en yüksek artışın saf hat RAR 133 genotipinde olduğu tespit edilmiştir. Bu azalmaların kurak koşullarda oluşan azalmalardan daha düşük olduğu belirlenmiştir.

4.2.4. Gövde Na Konsantrasyonu

Ayçiçeği genotiplerinin gövde Na konsantrasyonu değerlerinde uygulamalardan kaynaklı değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, gövde Na konsantrasyonu PEG+NO uygulamasında RAR 56 genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol+NO uygulamalarında gövde Na konsantrasyonu kontrole göre ticari hatlarda (İrtiş'ta %47 ve Zarya'da %2) saf hatlara göre azalırken, saf hatlarda artışlar olmuştur ve bu artışların RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %58 ve %705 oranlarında olduğu belirlenmiştir. PEG uygulanan koşullarda kontrol grubuna göre ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinde %88 ve %54 oranlarında saf hatlara göre fazla azalmalar olurken, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde %20 ve %17 oranlarında azalışlar görülmüştür. PEG+NO uygulama grubunda Na konsantrasyonu kontrole göre ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinde %86 ve %14 oranlarında azalırken, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde %422 ve %106 oranlarında artmıştır (Çizelge 4.10, Şekil 4.10).

Çizelge 4.10. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde Na konsantrasyonu (%)

Gövde Na Konsantrasyonu (%)														
Dozlar	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133		Ort.					
	%	%	%	%	%	%	%	%						
Kontrol	0.024	ab	0.0015	b	0.008	b	0.001	b	0.01	<i>a</i>				
Kontrol+NO	0.013	ab	-47	0.0014	b	-2	0.012	ab	58	0.011	ab	705	0.01	<i>a</i>
PEG	0.004	b	-85	0.0007	b	-54	0.006	b	-20	0.001	b	-17	0.003	<i>a</i>
PEG+NO	0.003	b	-86	0.0013	b	-14	0.041	a	422	0.003	b	106	0.01	<i>a</i>
Ort.	0.01	<i>ab</i>	0.001	<i>b</i>	0.02	<i>a</i>	0.004	<i>b</i>						



Şekil 4.10. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin gövde Na konsantrasyonu (%)

Araştırmada kontrol grubuna nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda ayçiçeği genotiplerinin Na içeriklerinde kontrole göre ticari hatlarda azalmalar görülürken, saf hatlarda artışlar gerçekleşmiştir. Kurak koşullarda dört genotipin de Na içeriklerinde kontrole göre tüm genotiplerde azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalmaların saf hatlara göre ticari hatlarda fazla olduğu belirlenmiştir ve en yüksek azalma oranı ticari hat Zarya genotipinde saptanmıştır. Kurak koşullarda nitrik oksit uygulamasıyla Na içeriklerinde kontrole göre ticari hatlarda azalmalar gözlenirken, saf hatlarda artışlar tespit edilmiştir. En yüksek artış oranı saf hat RAR 56 genotipinde saptanmıştır. Kuraklık+NO grubuyla PEG uygulamalı grup mukayese edildiğinde tüm genotiplerde artışların olduğu ve bu artışların saf hatlarda daha fazla oranlarda olduğu belirlenmiştir.

Besin elementleri çeşitli fizyolojik fonksiyonları, önemli metabolik olayları ve bitki yapısının stabilitesini korumak için bitkilerde yeterli miktarda biriktirilmeleri gerekmektedir. Besin elementi alımındaki herhangi bir eksiklik bitki metabolizmasını belirgin şekilde bozabilir (Liang ve ark., 2018).

Mısır bitkisinde tuz stresi koşullarında yapılan araştırmada kontrole göre SNP dozlarına bağlı olarak K, Ca, Mg, Na konsantrasyonlarında artışlar meydana gelmiştir (Çelik ve Eraslan, 2015). Nitrik oksit uygulandığında K miktarındaki değişimler, K'un bitki dayanıklılığında önemli rolü olduğunu göstermektedir (Tekin, 2019). SNP uygulamasının bitkilerde kuraklık toleransı üzerine etkisini araştıran bir çalışmada, SNP

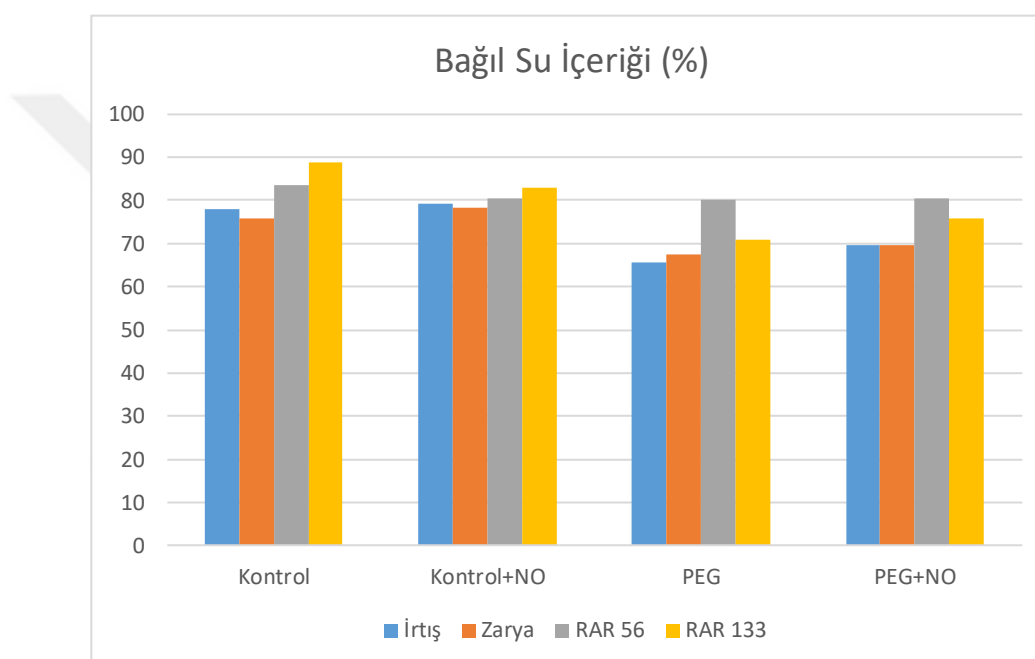
uygulamasıyla Ca içeriklerinde artışlar sağlandığı rapor edilmiştir (Rahbarian ve ark., 2011; Liu ve ark., 2013). SNP ile uygulama yapılan *Arabidopsis* fidelerinin hücresel Mg içeriğinde önemli artışlar gözlemlenmiştir (Liu ve ark., 2017). SNP'nin mısır bitkilerinde K alımındaki kuraklığa bağlı kısıtlamaları belirgin şekilde engellediği belirlenmiştir. Nitrik oksit, kök uzunluğunun artmasına ve sonuçta bitkilerde K alımını artıran birinci dereceden yanal köklerin sayısına neden olarak kök/sürgün oranını etkilemektedir (Xia ve ark., 2014; Song ve ark., 2018). Ayrıca, nitrik oksit, bitki kuraklık toleransını arttırmak için stomada K taşınmasında rol oynayan kanalların aktivitesini kontrol etmek için ABA-sinyal yolu ile etkileşime girmektedir (Chen ve ark., 2013). Kurşun toksitesinde çavdar otu bitkisine 50, 100 ve 200 μ M SNP uygulamaları yapıldığında K ve Mg alımını önemli ölçüde artırmıştır (Bai ve ark., 2015). Karpuz bitkisinde kurak koşullarda NO uygulamalarıyla PEG grubuna kıyasla Ca içeriği artmıştır. Mg ve K içeriği hem PEG hem de PEG+NO uygulamalarında kontrole kıyasla anlamlı derecede azalmıştır. PEG ve PEG+NO uygulama gruplarında Na içeriğinde kontrole göre KAR 98 genotipi artış gösterirken, KAR 147 genotipi anlamlı derecede azalma göstermiştir (Hamurcu ve ark., 2020a).

4.3. Bağlı Su İçeriği

Ayçiçeği genotiplerinin kontrol+NO uygulaması koşullarında bağlı su içeriği (RWC) değerleri kontrole göre saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %4 ve %7 oranlarında azalırken, ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinde kontrole göre az da olsa sırasıyla %2 ve %3 oranında artmıştır. PEG uygulamasıyla kontrole kıyasla her dört genotipte azalmaların olduğu ve bu azalmaların ticari hat İrtiş'ta %16 ve Zarya'da %11 oranında, en az azalma saf hat RAR 56'da %4 oranında ve en fazla azalma saf hat RAR 133 genotipinde %20 oranında olduğu belirlenmiştir. PEG+NO uygulamasında kontrole göre yaprak bağlı su içeriği ticari hat İrtiş genotipinde %11, Zarya genotipinde %8, saf hat RAR 56 genotipinde %5 ve RAR 133 genotipinde %15 oranlarında azalmıştır. PEG uygulaması PEG+NO uygulamasıyla kıyaslandığında bağlı su içeriği değerlerinde ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde az da olsa sırasıyla %6, %3, %0,5 ve %7 oranında artışlar gerçekleşmiştir (Çizelge 4.11, Şekil 4.11).

Çizelge 4.11. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin bağıl su içeriği (%)

Dozlar	Bağıl Su İçeriği (%)								Ort.	
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133			
	%	%	%	%	%	%	%	%		
Kontrol	77.89	bc	75.82	cd	83.59	ab	88.89	a	81.55	<i>a</i>
Kontrol+NO	79.33	bc	78.40	bc	80.49	bc	83.00	ab	80.30	<i>a</i>
PEG	65.48	e	67.52	e	80.00	bc	70.85	de	70.96	<i>c</i>
PEG+NO	69.64	de	69.58	de	80.46	bc	75.91	cd	73.90	<i>b</i>
Ort.	73.08	<i>b</i>	72.83	<i>b</i>	81.13	<i>a</i>	79.66	<i>A</i>		



Şekil 4.11. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin bağıl su içeriği (%)

Kurak koşullarda bağıl su içeriği çeşitli bitkilerin kuraklık stresine direnç mekanizmasının anlaşılmasında önemli fizyolojik parametredir (Khoyerdı ve ark., 2016). Çalışma sonuçlarımıza göre kontrol gruplarına nitrik oksit ilave edilen gruplarda bağıl su içeriğinde ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinde kontrole göre artış sağlanırken, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde azalmalar görülmüştür. Bağıl su içeriği değerlerinde kuraklık uygulamalarına bağlı olarak tüm genotiplerde azalmalar belirlenmiştir ve en düşük azalma saf hat RAR 56 genotipinde, en yüksek azalma da saf hat RAR 133 genotipinde tespit edilmiştir. Kuraklık+NO uygulamasında her dört genotipte genel olarak kontrollü koşullara kıyasla azalmalar meydana gelmiştir. Ayrıca bu azalmaların NO uygulanmayan gruplardan daha düşük oranlarda olduğu

belirlenmiştir. PEG grubu ile PEG+NO uygulama grubu kıyaslandığında bağıl su içeriğinde az da olsa artışların sağlandığı görülmüştür.

Bağıl su içeriğinin kurak koşullarda azaldığını gösteren birçok araştırma mevcuttur (Talebi ve ark., 2013; Katam ve ark., 2016; Bandurska ve ark., 2017; Sarazin ve ark., 2017; Zegaoui ve ark., 2017). Kurak koşullarda ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinde yapılan çalışmada strese bağlı bitkinin bağıl su içeriğinde azalmalar sergilendiği görülmüştür (Sarazin ve ark., 2017). İki hint hardalının kuraklık koşullarında fizyolojik ve biyokimyasal aktiviteler üzerindeki etkileşimini incelemek üzere yapılan araştırma sonuçları, PEG-teşvikli kuraklık stresine yanıt olarak, yapraklardaki bağıl su içeriği oranının azaldığını göstermiştir (Sahay ve ark., 2019). Kurak koşulların kolza fideleri üzerindeki etkilerini araştıran çalışmada PEG kaynaklı kuraklık stresi şartlarında bağıl su içeriğinin azaldığı gözlemlenmiştir (Hasanuzzaman ve ark., 2017). İki kanola bitkisinde kurak koşullara bağlı olarak bağıl su içeriğinde azalmalar olduğu ortaya konulmuştur (Akram ve ark., 2018). Kuraklık stresi altındaki kolza fidelerinde bağıl su içeriği (RWC) stres dozuna bağlı olarak azalmıştır. Kuraklık stresine NO uygulaması ilavesiyle bağıl su içeriğinde artışlar tespit edilmiştir (Hasanuzzaman ve ark., 2017). Fasulye bitkisi üzerinde yapılan çalışmada da su eksikliği koşullarında bağıl su içeriğinde kuraklığa bağlı bir azalma gerçekleşirken, sodyum nitroprussidin uygulanması bağıl su içeriğini artırmıştır (Nahar ve ark., 2015). NO uygulamasının hücre su potansiyelini artırdığı ve ozmotik stres altında tütün kallusundaki ozmoregülasyonu iyileştirdiği bildirilmiştir (Ke ve ark., 2013). Bu literatür çalışmaları, elde ettiğimiz sonuçları desteklemektedir.

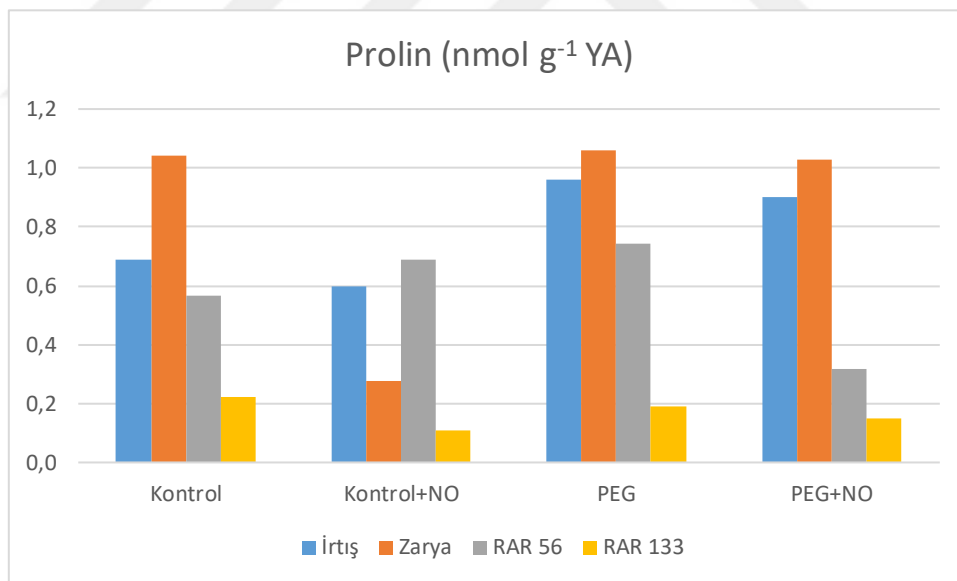
4.4. Prolin Değerleri

Varyans analiz sonuçlarına göre, prolin değerleri PEG uygulamasında İrtiş ve Zarya genotiplerinde, PEG+NO uygulamasında Zarya genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Ayçiçeği genotiplerinin prolin değerleri kontrol+NO uygulamasıyla kontrole göre ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %13, %74 ve %52 oranında azalırken, saf hat RAR 56 genotipinde %21 oranında artmıştır. PEG uygulamasıyla kontrole göre ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 genotiplerinde sırasıyla %39, %1 ve %31 oranında artış olurken, RAR 133 genotipinde %16 oranında azalış gerçekleşmiştir. PEG+NO uygulamasıyla ticari hat Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde prolin birikimi kontrole göre

sırasıyla %2, %44 ve %34 oranında azalırken, ticari hat İrtiş genotipi %31 oranında artış sergilemiştir. PEG+NO uygulaması PEG uygulamasıyla kıyaslandığında prolin miktarlarının ticari hat İrtiş genotipinde %6 ve Zarya genotipinde %2, saf hat RAR 133 genotipinde %21 oranında azaldığı ve en yüksek azalma RAR 56 genotipinde %57 oranında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.12, Şekil 4.12).

Çizelge 4.12. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin prolin değerleri (nmol g⁻¹ YA)

Dozlar	Prolin (nmol g ⁻¹ YA)								Ort.					
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133							
	nmol g ⁻¹ YA	%	nmol g ⁻¹ YA	%	nmol g ⁻¹ YA	%	nmol g ⁻¹ YA	%						
Kontrol	0.69	cd	1.04	a	0.57	d	0.23	ef	0.63	b				
Kontrol+NO	0.60	cd	-13	0.28	ef	-74	0.69	cd	21	0.11	f	-52	0.42	c
PEG	0.96	a	39	1.06	a	1	0.74	bc	31	0.19	ef	-16	0.74	a
PEG+NO	0.90	ab	31	1.03	a	-2	0.32	e	-44	0.15	f	-34	0.60	b
Ort.	0.79	b		0.85	a		0.58	c		0.17	d			



Şekil 4.12. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin prolin değerleri (nmol g⁻¹ YA)

Çalışma sonuçlarımıza göre kontrol gruplarına nitrik oksit ilave edilen gruplarda prolin miktarında kontrole göre ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 133 genotiplerinde azalmalar gerçekleşirken, saf hat RAR 56 genotipinde artış görülmüştür. Prolin miktarı PEG uygulamasıyla kontrole göre ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56

genotiplerinde artışlar gösterirken, saf hat RAR 133 genotipinde azalış belirlenmiştir. PEG+NO uygulama grubu prolin miktarı değerlerinde kontrole göre ticari hat Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde azalış sergilerken, ticari hat İrtiş genotipinde artış meydana gelmiştir. Prolin değerlerindeki azalmalar PEG+NO gruplarında PEG grubuna göre daha düşük oranlarda olduğu tespit edilmiştir.

Bitkilerde kuraklık stresi altında prolin üretimi artmaktadır (Sahay ve ark., 2019). Çalışmamıza benzer araştırmada kuraklık stresi altında ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) çeşitlerinde prolin birikimi artmıştır (Gunes ve ark., 2008; Shehzad ve ark., 2020). Domates bitkisinde kurak koşullar altında prolin miktarında artışlar görülmüştür (Elkelish ve ark., 2021). Nohut bitkisinin kuraklık stresine bırakılması sonucunda bitkinin prolin içeriğinde artışlar meydana gelmiştir (Yürekli, 2015). Mısır (*Zea mays* L.)'da kadmiyum toksisitesi altında kontrol fidelerine kıyasla SNP uygulanan fidede prolin miktarı kökte azaldığı, yaprakta ise arttığı rapor edilmiştir (Deveci, 2015). Soya bitkisine farklı sıcaklık ve farklı dozda uygulanan nitrik oksit miktarlarıyla, yaprakların prolin düzeylerinde önemli sayılabilecek artışlar sağlanmıştır (Tekin, 2019). Soya fiderine muamele edilen SNP konsantrasyonlarının artışına paralel olarak kontrol gruplarına oranla prolin içeriğinde artış görüldüğü rapor edilmiştir (Aytamka, 2005). Kanola (*Brassica napus*) bitkisinde yapılan bir çalışmada kontrole göre SNP uygulanan fidede prolin miktarının azaldığı belirlenmiştir (Kazemi ve ark., 2010). Biber bitkilerin tuz stresine maruz kalmasıyla nitrik oksit uygulanması prolin değerlerini azalttığı belirtilmiştir (Kayın, 2020). Önceki yapılan çalışmaların sonuçları tez çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçları desteklemektedir.

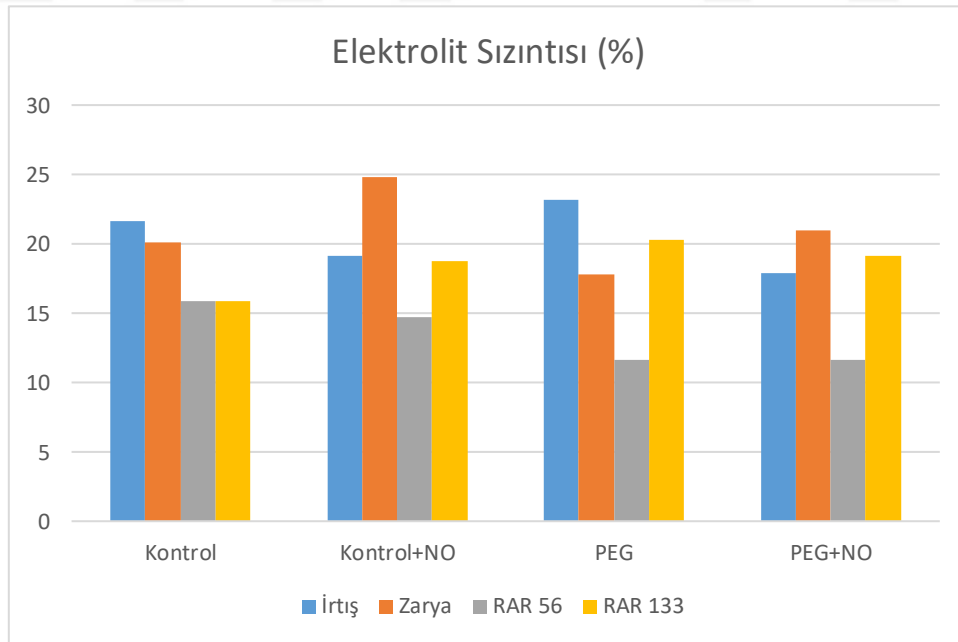
4.5. Elektrolit Sızıntısı Değerleri

Varyans analiz sonuçlarına göre, elektrolit sızıntısı değerleri kontrol+NO uygulamasında Zarya genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 56 genotiplerinin kontrol+NO uygulama grubunda elektrolit sızıntısı değerleri kontrole göre %11 ve %7 oranında azalış gösterirken, ticari hat Zarya ve saf hat RAR 133 genotipinde %23 ve %18 oranında artışlar gösterdiği belirlenmiştir. PEG grubunda kontrole göre elektrolit sızıntısı ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 133 genotiplerinde %7 ve %28 oranında artış, ticari hat Zarya ve saf hat RAR 56 genotiplerinde %12 ve %27 oranında azalışlar sergilemiştir. PEG+NO grubunda kontrole göre elektrolit sızıntısı artış göstermiştir, ticari hat Zarya genotipinde bu artış

%4 olurken, en yüksek artış saf hat RAR 133 genotipinde %20 oranında olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 56 genotiplerinde %17 ve %27 oranlarında azalışlar olduğu belirlenmiştir. PEG+NO grubu PEG uygulama grubu ile kıyaslandığında elektrolit sızıntısının üç genotipte (ticari hat İrtiş - %22, saf hat RAR 56 - %0,4 ve RAR 133 - %5) azalma gösterdiği ve ticari hat Zarya genotipinde %17 oranında arttığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.13, Şekil 4.13).

Çizelge 4.13. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin elektrolit sızıntısı değerleri (%)

Dozlar	Elektrolit Sızıntısı (%)										Ort.			
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133		Ort.					
	%	%	%	%	%	%	%	%						
Kontrol	21.62	abc	20.12	bc	15.92	def	15.92	efg	18.40	ab				
Kontrol+NO	19.18	cd	-11	24.82	a	23	14.78	fg	-7	18.76	cde	18	19.39	a
PEG	23.17	ab	7	17.80	cdef	-12	11.70	g	-27	20.31	bc	28	18.24	ab
PEG+NO	17.95	cdef	-17	20.96	abc	4	11.64	g	-27	19.16	cd	20	17.43	b
Ort.	20.48	a		20.93	a		13.51	c		18.54	b			



Şekil 4.13. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin elektrolit sızıntısı değerleri (%)

Elektrolit sızıntısı değerleri NO uygulamasıyla kontrole kıyasla ticari hat Zarya genotipinde ve saf hat RAR 133 genotipinde artarken, ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 56 genotiplerinde azalmalar gerçekleşmiştir. PEG uygulamasına bağlı olarak elektrolit sızıntısı değerlerinde kontrole göre ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 133 genotiplerinde artışlar belirlenirken, ticari hat Zarya ve saf hat RAR 56 genotiplerinde azalmalar belirlenmiştir. PEG+NO uygulamasıyla ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 56 genotiplerinin elektrolit sızıntısında kontrole göre azalma görülürken, ticari hat Zarya ve saf hat RAR 133 genotiplerinde artış olduğu tespit edilmiştir. PEG grubu ile PEG+NO uygulama grubu kıyaslandığında elektrolit sızıntısında ticari hat İrtiş, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde azalmalar olurken, ticari hat Zarya genotipi NO uygulamasından etkilenmemiştir.

Kuraklık stresi altında bitkilerde elektrolit sızıntısı değerlerinin arttığını bildiren çalışmalar mevcuttur (Jäger ve ark., 2014; Naghashzadeh, 2014). Stres koşullarında membran bütünlüğünün korunmadığı ve stresin şiddeti ile elektrolit sızıntısının arttığı vurgulanmıştır (Srivastava ve ark., 2014). Kuraklık stresi altında elma ve ayva bitkileri üzerinde yapılan çalışma sonuçları bitkilerin elektrolit sızıntısında artış gerçekleştiğini göstermiştir (Bolat ve ark., 2014). Nitrik oksit pazu bitkilerinde kuraklık stresinin elektrolit sızıntısı üzerindeki olumsuz etkilerini tüm dozlarda, özellikle hem tohum hem de yaprak dışı uygulamalar için 100 ve 150 μM dozlarda azaltmıştır (Ekinci ve ark., 2020).

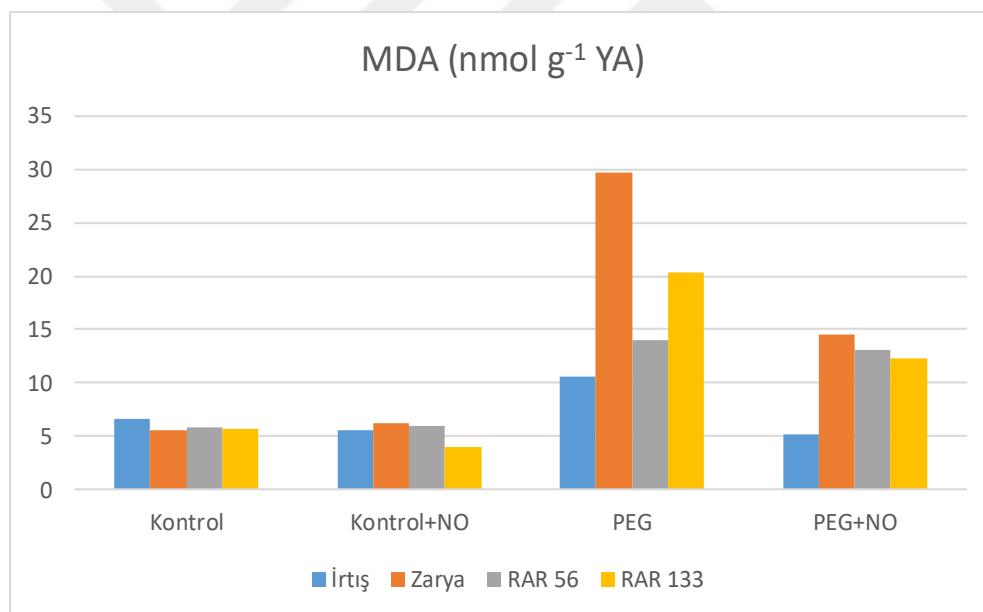
4.6. Lipid Peroksidasyonu (MDA) Miktarları

Varyans analiz sonuçlarına göre, lipid peroksidasyonu (MDA) miktarları PEG uygulamasında Zarya genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Ayçiçeği genotiplerinin MDA miktarları kontrol+NO uygulama grubunda kontrole göre ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 133 genotiplerinde sırasıyla %16 ve %30 oranında azalırken, ticari hat Zarya ve saf hat RAR 56'da sırasıyla %11 ve %2 oranlarında artmıştır. MDA miktarları PEG grubunda kontrole kıyasla ticari hat İrtiş'te %59, saf hat RAR 56'da %139 ve RAR 133'te %252 oranlarında artarken, en yüksek artış ticari hat Zarya'da %428 oranında belirlenmiştir. PEG+NO uygulamasıyla kontrole kıyasla ticari hat İrtiş genotipinin MDA miktarında %23 oranında azalma olurken, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotipleri sırasıyla %125 ve %112 oranlarında artışlar gösterdiği ve en yüksek artış ticari hat Zarya genotipinde %159 oranında olduğu tespit edilmiştir. PEG+NO

uygulamasını PEG uygulanan grupla kıyaslandığında MDA miktarlarının azalışlar gösterdiği ve bu azalışların ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinde birbirine yakın değerlerde %51 ve %50 oranında olduğu, saf hat RAR 56 genotipinde %6 ve RAR 133 genotipinde ise %40 oranında düştüğü belirlenmiştir (Çizelge 4.14, Şekil 4.14).

Çizelge 4.14. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin lipid peroksidasyonu miktarları (nmol g⁻¹ YA)

Dozlar	MDA (nmol g ⁻¹ YA)										Ort.					
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133									
	nmol g ⁻¹ YA	%	nmol g ⁻¹ YA	%	nmol g ⁻¹ YA	%	nmol g ⁻¹ YA	%								
Kontrol	6.69	F	5.62	f	5.85	f	5.77	f			5.98	c				
Kontrol+NO	5.61	Fg	-16		6.21	f	11		5.95	f	2	4.05	g	-30	5.45	c
PEG	10.62	E	59		29.67	a	428		14.01	cd	139	20.32	b	252	18.66	a
PEG+NO	5.16	Fg	-23		14.55	c	159		13.15	cd	125	12.24	d	112	11.28	b
Ort.	7.02	D			14.01	a			9.74	c		10.60	b			



Şekil 4.14. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin lipid peroksidasyonu miktarları (nmol g⁻¹ YA)

Kurak koşulların bitki metabolizması üzerindeki olumsuz etkilerinden biri hücre membran lipidlerinin peroksidasyonudur (Filek ve ark., 2012). Aktif oksijen türevleri membran lipidlerinin bütünlüğü, yapısı ve membran organizasyonunu bozan lipid peroksidasyonuna sebep olarak hücre zarında hasarlara yol açmaktadır (Jaleel ve ark., 2007; Khan ve ark., 2017). Ayçiçeği genotiplerinin MDA miktarları kontrol+NO

uygulamasıyla ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 133 genotiplerinde kontrole göre azalış görülürken, ticari hat Zarya ve saf hat RAR 56 genotiplerinde artışlar görüldüğü tespit edilmiştir. Kurak koşullarda MDA miktarları kontrole göre dört genotipte de artış göstermiştir ve en yüksek artış oranları ticari hat Zarya ve saf hat RAR 133 genotiplerine ait bulunmuştur. PEG+NO uygulamasıyla MDA miktarında PEG'e göre her dört genotipte de azalma olduğu, ticari hat İrtiş genotipinin MDA miktarında ise kontrole göre azalmaların olduğu belirlenmiştir.

Önceki araştırmalarda lipid peroksidasyonunun abiyotik stres koşullarından kaynaklı özellikle kuraklık stresine hassasiyet gösteren genotiplerde daha fazla artış gösterdiği ileri sürülmüştür (Yaşar ve ark., 2012; Kuşvuran ve ark., 2016). Çalışma sonuçlarımızı destekleyen araştırmaların birinde bitkilerde kuraklık koşullarında lipid peroksidasyon seviyesinin arttığı rapor edilmiştir (Rezayian ve ark., 2020). Diğer bir çalışmada kuraklık stresi nedeniyle yüksek H₂O₂ üretimi sonucunda oksidatif hasarın açık belirtileri membran lipid peroksidasyonunun artması gerçekleşmiştir (Hasanuzzaman ve ark., 2017). Biber bitkisi üzerinde farklı stres faktörleri uygulanan çalışmada, stres koşullarından dolayı bitkilerin malondialdehit miktarlarında artışlar meydana gelmiştir. NO uygulamasıyla bu artışların azaldığı rapor edilmiştir (Kayın, 2020). NO, lipid peroksidasyonunu engelleyerek, fotosentez hızını artırarak ve çeşitli sinyal yollarıyla antioksidan sistemleri teşvik ederek reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerini sınırlandırmaktadır (Asai ve ark., 2008; Shi ve ark., 2014). Kurak koşullarda nitrik oksit uygulaması MDA miktarında gerçekleşen artışları az da olsa engellediği tespit edilmiştir (Avşaroğlu, 2016). Diğer bir çalışma sonuçları NO eksojen uygulamasının, oksidatif savunma sistemi aktivitelerini artırarak, ozmoprotektan birikimini ve lipid peroksidasyonunu en aza indirerek kanola bitkilerinin kuraklık toleransını arttırmada yararlı olmuştur (Akram ve ark., 2018). Tuzluluk stresi altında nitrik oksit uygulaması malondialdehit miktarını azaltmıştır (Tabay ve ark., 2015). Mısır bitkisinde yapılan çalışmada kontrol fidelerine kıyasla SNP uygulanan fidelerde kök ve yaprakta malondialdehit miktarı azaldığı rapor edilmiştir (Deveci, 2015). Eksojen NO uygulaması, elektrolit kaybını sınırlandırarak MDA içeriğini azaltarak kuraklığın olumsuz etkilerini önlediği görülmüştür (Gan ve ark., 2015).

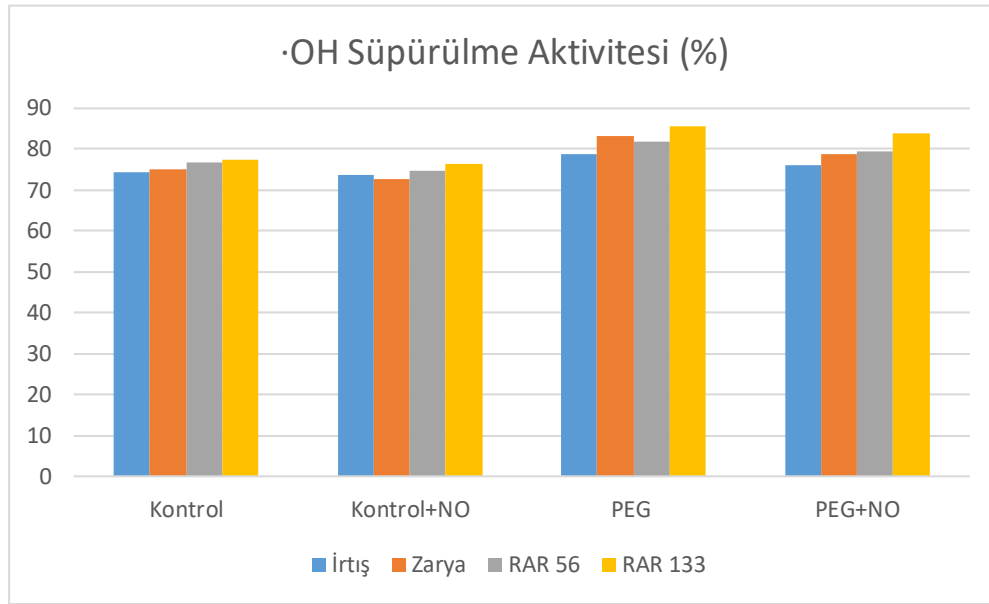
4.7. Reaktif Oksijen Türlerinin (ROT) Analiz Sonuçları

4.7.1. Hidroksil Radikal ($\cdot\text{OH}$) Süpürülme Aktivite Değerleri

Varyans analiz sonuçlarına göre, hidroksil radikal süpürülme aktivite değerleri PEG uygulamasında RAR 133 genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol+NO uygulama grubuyla $\cdot\text{OH}$ süpürülme aktivitesi kontrole göre ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 56 genotiplerinde %1 oranında, ticari hat Zarya ve saf hat RAR 133 genotiplerinde %3 oranında azalmıştır. PEG uygulamasıyla $\cdot\text{OH}$ süpürülme aktivitesinde tüm genotiplerde kontrole göre artışlar görülmüştür ve ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 133 genotiplerinde %6 oranında, ticari hat Zarya ve saf hat RAR 56 genotipinde %11 oranında artışlar olduğu tespit edilmiştir. PEG+NO uygulaması kontrolle kıyaslandığında $\cdot\text{OH}$ süpürülme aktivitesinin saf hat RAR 56'da %3 ve RAR 133'te %9 oranında, ticari hat İrtiş'ta %2 ve Zarya'da %5 oranlarında arttığı tespit edilmiştir. PEG+NO uygulaması PEG uygulanan grupla kıyaslandığında $\cdot\text{OH}$ süpürülme aktivitesinde ticari hat İrtiş genotipinde %3 ve Zarya genotipinde %5, saf hat RAR 56'da %2 ve RAR 133'te %1 oranında azalışlar gerçekleşmiştir (Çizelge 4.15, Şekil 4.15).

Çizelge 4.15. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin hidroksil radikal ($\cdot\text{OH}$) süpürülme aktivite değerleri (%)

Dozlar	$\cdot\text{OH}$ Süpürülme Aktivitesi (%)										Ort.
	İrtiş		Zarya			RAR 56		RAR 133			
	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
Kontrol	74.40	gh	75.05	fgh	76.82	Defg	77.21	def	75.87	C	
Kontrol+NO	73.60	gh -1	72.75	h -3	74.80	fgh -3	76.45	efg -1	74.40	D	
PEG	78.86	de 6	83.12	ab 11	81.60	bc 6	85.40	a 11	82.25	A	
PEG+NO	75.92	fg 2	78.63	de 5	79.38	cd 3	83.83	ab 9	79.44	B	
Ort.	75.70	c	77.39	b	78.15	b	80.72	a			



Şekil 4.15. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin hidroksil radikal ($\cdot\text{OH}$) süpürülme aktivite değerleri (%)

Kontrol+NO uygulama grubunda $\cdot\text{OH}$ süpürülme aktivitesi kontrole göre her dört genotipte azalmıştır. PEG uygulamasıyla $\cdot\text{OH}$ süpürülme aktivite değerleri tüm genotiplerde kontrole göre artışlar göstermiştir ve saf hat RAR 56 genotipinde diğerlerine göre daha fazla artışlar olduğu tespit edilmiştir. PEG+NO uygulaması kontrolle kıyaslandığında her dört genotipin $\cdot\text{OH}$ süpürülme aktivitesinde artış elde edilmiştir. PEG+NO grubu PEG uygulanan grupla kıyaslandığında $\cdot\text{OH}$ süpürülme aktivitesinde her dört genotipte de az da olsa azalışlar gerçekleşmiştir.

Önceki yapılan bir çalışmada karpuz genotiplerinin $\cdot\text{OH}$ aktiviteleri PEG uygulaması altında kontrole göre artmıştır. Bununla birlikte, kuraklık+NO uygulamaları sadece kuraklık koşullarına kıyasla azalmıştır (Hamurcu ve ark., 2020b). Nitrik oksidin süperoksit radikalının yok olmasında ve nitrat ile izomerizasyon üzerine yüksek oranda reaktif $\cdot\text{OH}$ radikali ve azot oksit (NO_2) üretimine yol açan peroksinitrit (ONOO^-) radikali ürettiği belirlenmiştir (Singh ve Shah, 2014).

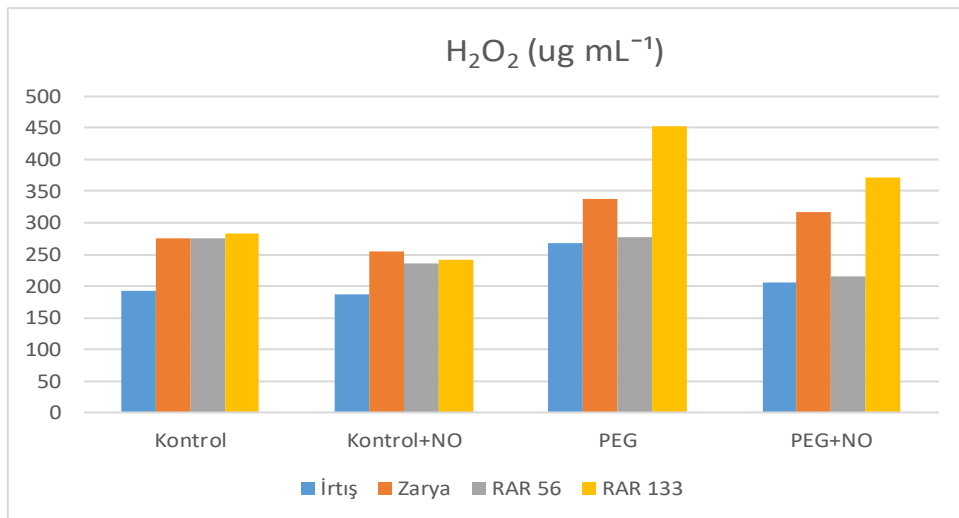
4.7.2. Hidrojen Peroksit (H_2O_2) İçerikleri

Varyans analiz sonuçlarına göre, hidrojen peroksit içerikleri PEG uygulamasında RAR 133 genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol+NO uygulama grubuyla H_2O_2 içerikleri kontrole göre saf hatlarda ticari hatlara kıyasla daha fazla

azalma göstermiştir. Ticari hat İrtiş'ta %3 ve Zarya'da %8, saf hat RAR 56 genotipinde %14 ve RAR 133 genotipinde %15 oranlarında azaldığı belirlenmiştir. PEG uygulamasının yapıldığı şartlarda H₂O₂ içeriklerinde tüm genotipler kontrole göre artışlar göstermiştir ve ticari hat İrtiş'ta %39 ve Zarya'da %22, saf hatlarda RAR 56 genotipinde %1 ve en yüksek artış RAR 133 genotipinde %59 oranında belirlenmiştir. PEG+NO uygulamasıyla H₂O₂ içerikleri kontrole kıyasla saf hat RAR 56 genotipinde %22 oranında azalış gösterirken, ticari hat İrtiş'ta %6 ve Zarya'da %15, saf hat RAR 133'te %31 oranlarında arttığı belirlenmiştir. PEG+NO uygulaması PEG uygulanan grupla kıyaslandığında H₂O₂ içeriklerinin ticari hat Zarya genotipinde %6 ve saf hat RAR 133'te %17 oranında azalırken, bu iki genotipe göre daha fazla azalışın ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 133'te benzer değerlerde %23 ve %22 gerçekleştiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.16, Şekil 4.16).

Çizelge 4.16. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin hidrojen peroksit (H₂O₂) içerikleri (ug mL⁻¹)

Dozlar	H ₂ O ₂ (ug mL ⁻¹)										Ort.
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133		Ort.		
	ug mL ⁻¹	%	ug mL ⁻¹	%	ug mL ⁻¹	%	ug mL ⁻¹	%			
Kontrol	193.23	<i>n</i>	275.69	<i>Fg</i>	274.65	<i>g</i>	283.48	<i>e</i>	256.76	<i>c</i>	
Kontrol+NO	186.94	<i>o</i> -3	253.90	<i>I</i> -8	235.02	<i>k</i> -14	240.98	<i>j</i> -15	229.21	<i>d</i>	
PEG	267.85	<i>h</i> 39	337.19	<i>C</i> 22	277.40	<i>f</i> 1	451.97	<i>a</i> 59	333.60	<i>a</i>	
PEG+NO	205.68	<i>m</i> 6	316.02	<i>D</i> 15	215.40	<i>l</i> -22	371.14	<i>b</i> 31	277.06	<i>b</i>	
Ort.	213.42	<i>d</i>	295.70	<i>B</i>	250.61	<i>c</i>	336.89	<i>a</i>			



Şekil 4.16. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin hidrojen peroksit (H₂O₂) içerikleri (ug mL⁻¹)

Araştırmada kontrol grubuna nitrik oksit uygulamasının yapıldığı koşullarda ayçiçeği genotiplerinin H₂O₂ içeriklerinde tüm genotiplerde azalmalar görülmüştür ve bu azalmalar ticari hatlarda saf hatlara kıyasla daha düşüktür. Kurak koşullarda dört genotipin de H₂O₂ içeriklerinde kontrole göre tüm genotiplerde artışlar meydana gelmiştir ve en yüksek artış oranı saf hat RAR 133 genotipinde belirlenmiştir. Kurak koşullarda nitrik oksit uygulamasıyla H₂O₂ içeriklerinde kontrole göre artışlar oluşmuştur ve en yüksek artış saf hat RAR 133 genotipinde görülürken, saf hat RAR 56 genotipinde azalma tespit edilmiştir. PEG+NO grubuyla PEG grubu mukayese edildiğinde tüm genotiplerde azalmaların olduğu ve bu azalışın ticari hat İrtiş ve RAR 56 genotiplerinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu elde ettiğimiz sonuçlar daha önce yapılan araştırma sonuçlarıyla desteklenmektedir.

Kuraklığa bağlı olarak bitkilerde yüksek oksidatif hasar anlamına gelen H₂O₂ içeriğinin arttığını gösteren birkaç çalışmalar vardır (Jday ve ark., 2016; Hasanuzzaman ve ark., 2017; Nahar ve ark., 2017; Rezayian ve ark., 2020). NO'nun kuraklık stresi altında H₂O₂ içeriğini azaltabileceği iyi belgelenmiştir (Zhang ve ark., 2016). Tuz altında bitkilere uygulanan NO, hidrojen peroksit miktarını azaltmıştır (Tabay ve ark., 2015). Ayrıca biber bitkisinde yapılan çalışma sonuçları da NO uygulamasının hidrojen peroksit miktarını düşürdüğünü göstermektedir (Kayın, 2020).

4.8. Antioksidan Enzim Aktivite Sonuçları

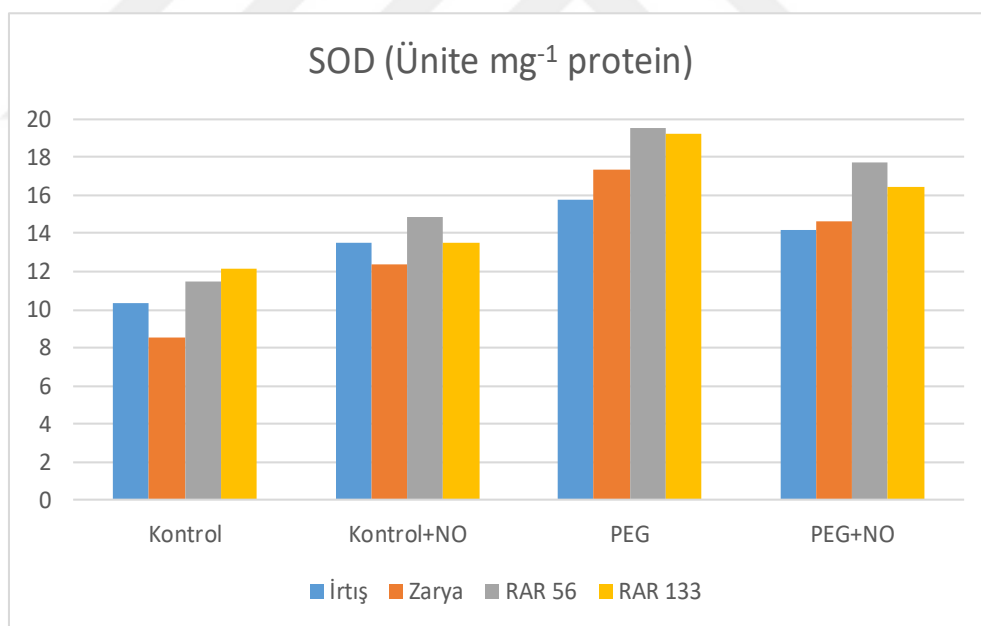
4.8.1. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktiviteleri

Varyans analiz sonuçlarına göre, SOD enzim aktivitesi PEG uygulamasında RAR 56 genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol+NO uygulamasıyla SOD enzim aktivite değerleri kontrole göre ticari hatlarda saf hatlara göre daha fazla artış göstermiştir ve bu artışlar İrtiş'ta %31 ve Zarya'da %45 oranında olmuştur. Saf hatlar ise RAR 56 genotipi %30 ve RAR 133 genotipi %11 oranlarında artışlar sağlamıştır. PEG uygulamasıyla SOD aktivite değerlerinde kontrole göre artışlar gerçekleştiği ve bu artışların saf hatlara göre ticari hatlarda daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ticari hat İrtiş'ta %17 ve en yüksek artış Zarya'da %104 oranında gerçekleşirken, saf hat RAR 56'da %71 ve RAR 133'te %58 oranlarında artış görülmüştür. PEG+NO uygulamasıyla SOD aktivite değerleri kontrole göre ticari hat

İrtiş genotipinde %38 ve en yüksek Zarya'da %72 oranında, saf hat RAR 56'da %55 ve saf hat RAR 133'te %35 oranında arttığı belirlenmiştir. PEG+NO uygulaması PEG uygulamasıyla kıyaslandığında SOD aktivite değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir ve bu azalışların ticari hat İrtiş'ta %10 ve Zarya'da %15, saf hat RAR 56'da %9 ve RAR 133'te %14 oranlarında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.17, Şekil 4.17).

Çizelge 4.17. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin SOD aktiviteleri (Ünite mg^{-1} protein)

Dozlar	SOD (Ünite mg^{-1} protein)													
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133		Ort.					
	Ünite mg^{-1} protein	%	Ünite mg^{-1} protein	%	Ünite mg^{-1} protein	%	Ünite mg^{-1} protein	%						
Kontrol	10.31	hi	8.5	i	11.4	ghi	12.2	fgh	10.61	d				
Kontrol+NO	13.48	efg	31	12.35	fgh	45	14.9	efg	30	13.5	efg	11	13.55	c
PEG	15.79	cde	53	17.35	abcd	104	19.5	a	71	19.3	ab	58	17.98	a
PEG+NO	14.18	efg	38	14.63	def	72	17.7	abc	55	16.5	bcde	35	15.75	b
Ort.	13.44	b	13.21	b	15.89	a	15.34	a						



Şekil 4.17. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin SOD aktiviteleri (Ünite mg^{-1} protein)

Oksidatif hasara karşı ilk savunma hattını oluşturan SOD enzimi, süperoksit molekülünün hidrojen peroksit (H_2O_2) dönüşümünü sağlayan güçlü antioksidan enzimdir (Asada ve ark., 1973; Melchiorre ve ark., 2009; Amini ve Haddad, 2013).

Çalışmamızda ayçiçeği genotiplerinin kontrol+NO uygulamasıyla SOD aktivite değerlerinin her dört genotipte arttığı ve bu artışların saf hatlara göre ticari hatlarda daha yüksek oranlarda olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık uygulamalarına bağlı olarak kontrole kıyasla SOD aktiviteleri tüm genotiplerde artışlar göstermiştir ve en yüksek artış oranı ticari hat Zarya genotipinde belirlenmiştir. PEG+NO uygulamasının yapıldığı koşullarda SOD aktivite değerlerinin dört genotipte de kontrole göre daha fazla artışlar sergilediği ve bu artışların ticari hatlarda daha yüksek oranlarda olduğu görülmüştür. PEG grubu ile PEG+NO grubu kendi aralarında mukayese edildiğinde tüm genotiplerin azalış gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçları önceki yapılan araştırma sonuçları desteklemektedir, ancak çalışmamızda kuraklık altında NO uygulamasıyla SOD enzimi aktivitesinde azalmalar görülmüştür.

Kuraklıktan kaynaklı oksidatif zararlara SOD enzim aktivitesi koruyucu etki gösterdiği belirlenmiştir (Shehab ve ark., 2010). Sodyum nitroprussid (SNP) ile yapılan tedavinin kuraklık altında SOD aktivitelerini yükselttiği ve bitkilerde daha düşük ROS birikimine neden olduğu belirtilmiştir (Fan ve ark., 2012). Kurak koşullarda buğday genotipleri üzerinde gerçekleşen çalışmada kontrol ve kurak şartlarda NO uygulamasına bağlı olarak SOD değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir (Kavuncu, 2019). Tuz stresine dirençli ve duyarlı ayçiçeği bitkilerinde dışarıdan uygulanan sodyum nitroprussid (SNP) SOD enzim aktivitesinin artışını sağlamıştır (Kireççi ve Yürekli, 2019).

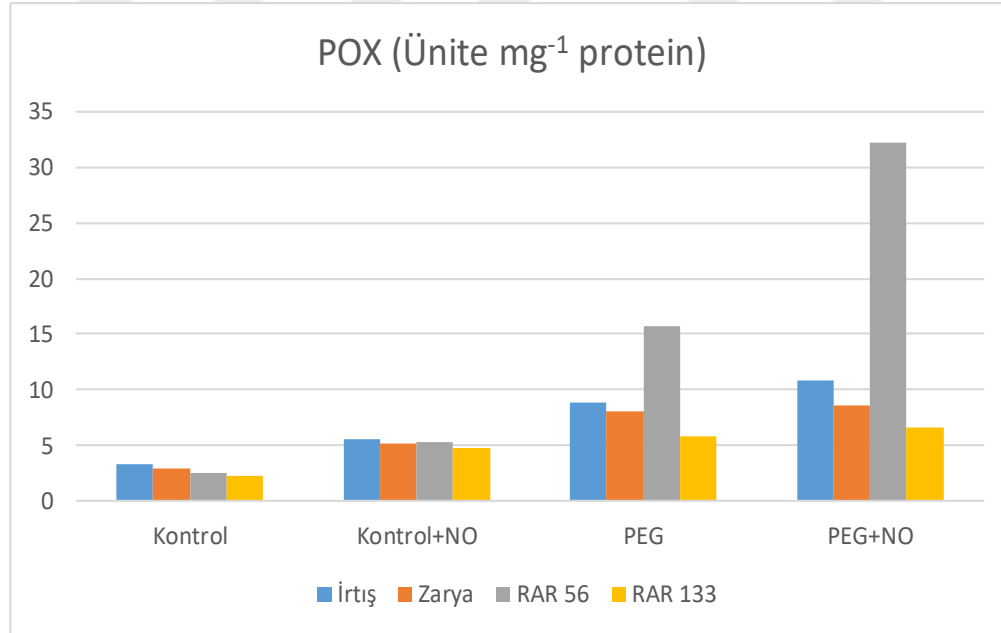
4.8.2. Peroksidaz (POX) Enzim Aktiviteleri

Ayçiçeği genotiplerinin POX enzim aktiviteleri her dört uygulama gruplarında artış göstermiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, POX enzim aktivitesi PEG+NO uygulamasında RAR 56 genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol+NO uygulamasıyla POX aktivite değerleri kontrole göre ticari hat İrtiş ve Zarya genotiplerinde sırasıyla %63 ve %80 oranlarında artarken, saf hatlarda ticari hatlara göre daha fazla artış gerçekleşmiştir ve bu artışların RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde %108 oranında olduğu tespit edilmiştir. PEG uygulama grubuyla POX aktivite değerlerinde kontrole göre ticari hat İrtiş'ta %163 ve Zarya'da %179, saf hat RAR 133'te %155 oranlarında artışlar görülmüştür ve en yüksek artış saf hat RAR 56 genotipinde %517 oranında belirlenmiştir. PEG+NO uygulamasında POX aktivite değerleri kontrole kıyaslandığında ticari hat İrtiş genotipinde %222 ve Zarya'da %198,

saf hat RAR 133'te %190 oranlarında artmıştır ve saf hat RAR 56'da en yüksek artış %1167 oranında belirlenmiştir. PEG+NO uygulaması PEG uygulama grubu ile kıyaslandığında POX aktivite değerlerinin ticari hat İrtiş genotipinde %22, Zarya genotipinde %6, RAR 133 genotipinde %13 oranlarında artarken, en yüksek artış saf hat RAR 56 genotipinde %105 oranıyla tespit edilmiştir (Çizelge 4.18, Şekil 4.18).

Çizelge 4.18. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin POX aktiviteleri (Ünite mg⁻¹ protein)

POX (Ünite mg ⁻¹ protein)										
Dozlar	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133		Ort.	
	Ünite mg ⁻¹ protein	%	Ünite mg ⁻¹ protein	%	Ünite mg ⁻¹ protein	%	Ünite mg ⁻¹ protein	%		
Kontrol	3.39	<i>l</i>	2.90	<i>m</i>	2.54	<i>n</i>	2.30	<i>N</i>	2.78	<i>d</i>
Kontrol+NO	5.52	<i>i</i> 63	5.22	<i>j</i> 80	5.28	<i>ij</i> 108	4.78	<i>K</i> 108	5.20	<i>c</i>
PEG	8.93	<i>d</i> 163	8.09	<i>f</i> 179	15.67	<i>b</i> 517	5.86	<i>H</i> 155	9.64	<i>b</i>
PEG+NO	10.91	<i>c</i> 222	8.64	<i>e</i> 198	32.19	<i>a</i> 1167	6.65	<i>G</i> 190	14.60	<i>a</i>
Ort.	7.19	<i>b</i>	6.21	<i>c</i>	13.92	<i>a</i>	4.90	<i>D</i>		



Şekil 4.18. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin POX aktiviteleri (Ünite mg⁻¹ protein)

Peroksidazlar üretilen hidrojen peroksitin uzaklaştırılmasında anahtar rol oynamaktadır (Dionisio-Sese ve Tobita, 1998). Kontrol+NO uygulamasıyla POX

aktivite değerleri her genotipte artışlar göstermiştir. Ayrıca bu artışların ticari hatlara göre saf hatlarda daha yüksek oranlarda olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık uygulamalarına bağlı olarak kontrole kıyasla POX aktiviteleri ticari hatlara göre saf hatlarda RAR 56 genotipinde fazla artış göstermiştir. PEG+NO uygulama grubunda POX aktivite değerlerinin dört genotipte de kontrol ve kuraklık uygulamasına göre daha fazla artışlar sergilediği ve bu artışların saf hat RAR 56 genotipinde daha yüksek oranlarda olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar önceki yapılan araştırmalarla desteklenmektedir.

Mısır bitkisi üzerinde yapılan araştırmada, kurak koşullarda bitkilerde peroksidaz aktivitelerinin arttığını ve bu artışın dayanıklı genotipte daha yüksek oranlarda olduğu ortaya konulmuştur (Moussa ve Abdel-Aziz, 2008). Kurak koşullar altında domateste yapılan çalışmada da POX enzim aktivitesinde artış görüldüğü rapor edilmiştir (Elkelish ve ark., 2021). Sodyum nitroprussid (SNP) ile yapılan çalışmada kuraklık altında SNP uygulandığı zaman POX aktivitelerinde artış olduğu ve bitkilerde daha düşük ROS birikimine sebep olduğu gösterilmiştir (Fan ve ark., 2012). Pazı bitkisinde NO uygulaması kurak koşullar altında POX antioksidan enzim aktivitesinde artışlara sebep olmuştur (Ekinci ve ark., 2020). Tuz stresi altında farklı konsantrasyonlarda eksojen SNP uygulamaları pak choi (*Brassica chinensis* L.) bitkisinde POX antioksidan enzim aktivitelerini artırmıştır (Ren ve ark., 2020).

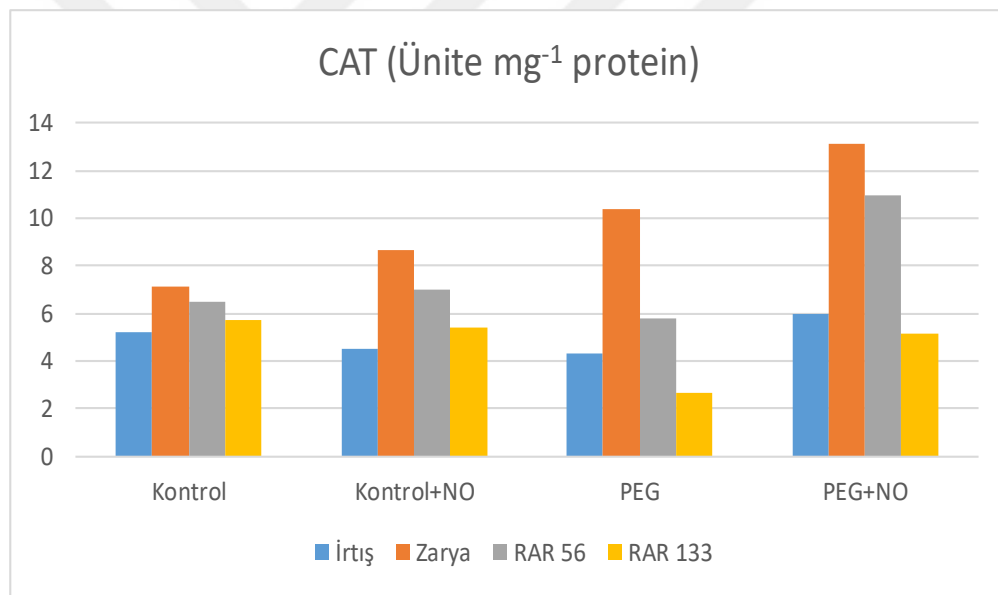
4.8.3. Katalaz (CAT) Enzim Aktiviteleri

Varyans analiz sonuçlarına göre, CAT enzim aktivitesi PEG+NO uygulamasında Zarya genotipinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kontrol+NO uygulama grubunda CAT enzim aktivite değerleri kontrole göre ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 133 genotiplerinde %14 ve %6 oranlarında azalırken, saf hat RAR 56'da %8 ve ticari hat Zarya genotipinde %21 oranında artış belirlenmiştir. PEG uygulamasının yapıldığı Şartlarda CAT aktivite değerlerinde kontrole göre ticari hat İrtiş'ta %17, saf hat RAR 56'da %11 ve RAR 133'te %53 oranlarında azalışlar görölürken, ticari hat Zarya genotipinde %45 oranında artış görülmüştür. PEG uygulama grubunda CAT aktivite değerleri kontrolle kıyaslandığında artışlar ticari hat İrtiş genotipinde %15 ve en yüksek Zarya'da %84, saf hat RAR 56 genotipinde %69 oranlarında olurken, saf hat RAR 133'te %10 oranında azaldığı belirlenmiştir. PEG+NO grubunda PEG grubuna göre CAT aktivite değerleri ticari hat İrtiş %38 ve Zarya genotipinde %27 oranlarında

artarken, saf hat RAR 56'da %89 ve RAR 133'te %92 oranlarında artmıştır (Çizelge 4.19, Şekil 4.19).

Çizelge 4.19. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin CAT aktiviteleri (Ünite mg⁻¹ protein)

CAT (Ünite mg ⁻¹ protein)														
Dozlar	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133		Ort.					
	Ünite mg ⁻¹ protein	%	Ünite mg ⁻¹ protein	%	Ünite mg ⁻¹ Protein	%	Ünite mg ⁻¹ protein	%						
Kontrol	5.24	<i>fgh</i>	7.15	<i>cd</i>	6.51	<i>cdef</i>	5.73	<i>efgh</i>	6.16	<i>b</i>				
Kontrol+NO	4.52	<i>gh</i>	-14	8.64	<i>c</i>	21	7.02	<i>cde</i>	8	5.39	<i>fgh</i>	-6	6.39	<i>b</i>
PEG	4.35	<i>h</i>	-17	10.35	<i>b</i>	45	5.80	<i>efgh</i>	-11	2.67	<i>i</i>	-53	5.79	<i>b</i>
PEG+NO	6.01	<i>defg</i>	15	13.15	<i>a</i>	84	10.98	<i>b</i>	69	5.14	<i>fgh</i>	-10	8.82	<i>a</i>
Ort.	5.03	<i>c</i>		9.82	<i>a</i>		7.58	<i>b</i>		4.73	<i>c</i>			



Şekil 4.19. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin CAT aktiviteleri (Ünite mg⁻¹ protein)

Çalışmamızda Kontrol+NO uygulaması ayçiçeği genotiplerinin yapraklarındaki CAT aktivitelerini kontrole göre ticari hat Zarya ve saf hat RAR 56 genotiplerinde artırırken, ticari hat İrtiş ve saf hat RAR 133 genotiplerinde azaltmıştır. PEG kaynaklı kurak koşullarda ticari hat İrtiş, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde azalmalar meydana gelirken, ticari hat Zarya genotipinde artış meydana gelmiştir. PEG+NO uygulamasıyla CAT aktivitesinde sadece PEG grubuna göre dört genotipte de artışlar

meydana gelmiştir. PEG+NO uygulamasıyla saf hatlara göre ticari hatlarda CAT enzim aktivite değerlerinde kontrole kıyasla daha fazla artış sağlanmıştır.

Önceki yapılan çalışmalarda CAT enzim aktivitesinin kuraklık altında önemli ölçüde azaldığı, NO uygulaması ile aktiviteleri artış gösterdiği belirtilmiştir (Gunes ve ark., 2008; Gan ve ark., 2015; Ren ve ark., 2020). Tuz stresine dirençli ve duyarlı ayçiçeği bitkilerinde yapılan araştırmada toleranslı kultivarda CAT enzim aktivitesinde genel artış saptanırken, duyarlı kultivarda azalmalar tespit edilmiştir (Kireççi ve Yürekli, 2019). Diğer bir nohut bitkisi üzerinde yürütülen çalışmada NO uygulamasıyla CAT aktiviteleri artış sergilemiştir (Sun ve ark., 2007). Buğday genotiplerinin de kontrol ve kurak şartlarda NO uygulamasına bağlı olarak CAT aktivite değerlerinde artış gösterdiği belirlenmiştir (Kavuncu, 2019). Diğer bir çalışmada CAT enzim aktivitesi çeşitlere göre farklılık göstermiştir; Sultan fidelerinde CAT antioksidan enzim aktiviteleri kuraklıktan dolayı artarken, Yüreğir ve İkizce genotiplerinde azaldığı görülmüştür (Yayık, 2017). CAT enzim aktiviteleri kuraklığa toleranslı ve duyarlı karpuz genotiplerinde NO uygulamalarına bağlı olarak düşüş gösterdiği rapor edilmiştir (Avşaroğlu, 2016). Kuraklık stresi altında nitrik oksit uygulamaları soya fasulyesinde reaktif oksijen türlerini indükleyerek CAT antioksidan enzim aktivitesini artırmıştır (Rezayian ve ark., 2020). Pirinç bitkisinde de kurak koşullarda CAT aktivitelerinin arttığı belirlenmiştir (Shehab ve ark., 2010).

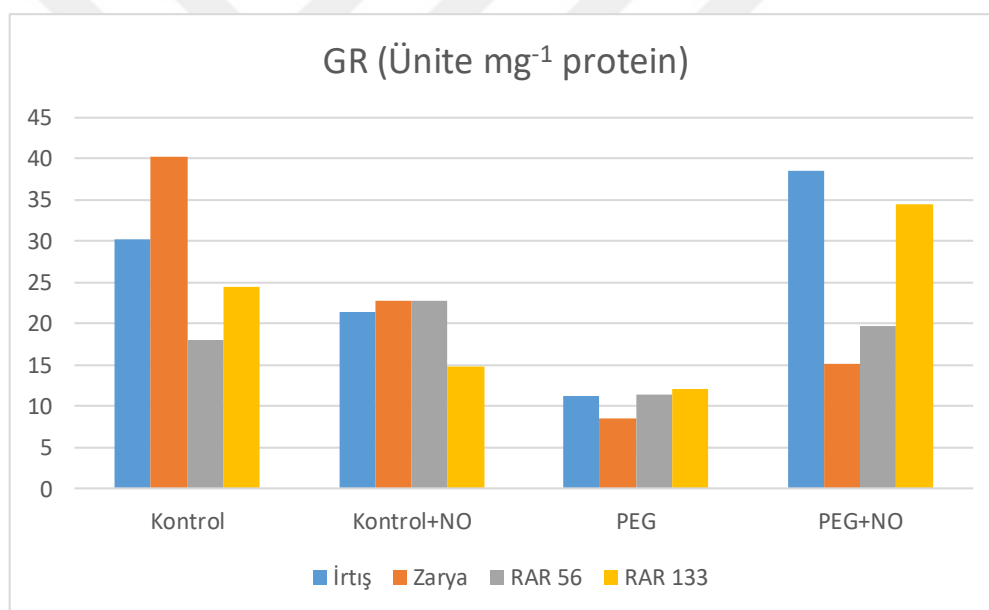
4.8.4. Glutatyon Redüktaz (GR) Enzim Aktiviteleri

Kontrol+NO uygulamasıyla GR enzim aktivite değerlerinin kontrole göre ticari hat İrtiş'ta %29 ve Zarya'da %43, saf hat RAR 133 genotipinde %39 oranlarında azaldığı ve saf hat RAR 56 genotipinde %27 oranında arttığı belirlenmiştir. PEG uygulamasıyla GR aktivite değerlerinde kontrole göre ticari hat İrtiş'ta %63 ve Zarya'da %79 oranında saf hatlara göre fazla azalma gerçekleşirken, saf hatlarda RAR 56 genotipinde %36 ve RAR 133 genotipinde %50 oranlarında azalmalar görülmüştür. PEG+NO uygulama grubu kontrole kıyasla ticari hat Zarya genotipinde %62 oranında azalış gösterirken, ticari hat İrtiş'ta %27, saf hat RAR 56'da %10 oranlarında arttığı ve en yüksek artış RAR 133'te %41 oranında olduğu belirlenmiştir. PEG+NO uygulaması PEG uygulanan grupla kıyaslandığında GR aktivite değerlerinin ticari hat Zarya genotipinde %77 ve saf hat RAR 56'da %72 oranında arttığı, bu iki genotipe göre daha

fazla artışın ticari hat İrtiş'ta %240 ve saf hat RAR 133'te %185 oranlarında gerçekleştiği belirlenmiştir (Çizelge 4.20, Şekil 4.20).

Çizelge 4.20. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin GR aktiviteleri (Ünite mg^{-1} protein)

Dozlar	GR (Ünite mg^{-1} protein)										Ort.					
	İrtiş		Zarya		RAR 56		RAR 133									
	Ünite mg^{-1} protein	%	Ünite mg^{-1} protein	%	Ünite mg^{-1} Protein	%	Ünite mg^{-1} protein	%								
Kontrol	30.29	<i>d</i>	40.19	<i>a</i>	17.95	<i>i</i>	24.39	<i>e</i>		28.20	<i>a</i>					
Kontrol+NO	21.44	<i>g</i>	-29		22.83	<i>f</i>	-43		22.76	<i>f</i>	27	14.81	<i>j</i>	-39	20.46	<i>c</i>
PEG	11.28	<i>l</i>	-63		8.51	<i>m</i>	-79		11.42	<i>l</i>	-36	12.11	<i>k</i>	-50	10.83	<i>d</i>
PEG+NO	38.45	<i>b</i>	27		15.07	<i>j</i>	-62		19.72	<i>h</i>	10	34.50	<i>c</i>	41	26.94	<i>b</i>
Ort.	25.37	<i>a</i>			21.65	<i>b</i>			17.97	<i>d</i>		21.45	<i>c</i>			



Şekil 4.20. Ticari hat İrtiş ve Zarya, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinin GR aktiviteleri (Ünite mg^{-1} protein)

Halliwell-Asada döngüsünde son enzim görevini alan sitozolde ve mitokondride bulunan glutasyon redüktaz (GR) enzimi, hücrede oksidatif hasarlara karşı yüksek aktivite göstermektedir (Sudhakar ve ark., 2001). Ayçiçeği genotiplerinin GR enzim aktivitelerinde kontrol grubuna NO ilavesiyle azalmalar gerçekleşmiştir ve bu azalmaların ticari hat Zarya ve saf hat RAR 133 genotiplerinde daha fazla olduğu görülürken, saf hat RAR 56 genotipinde artış meydana gelmiştir. PEG uygulama

grubunda GR aktivitelerinde dört genotipte de kontrole kıyasla azalmalar oluşmuştur ve bu azalmaların ticari hatlarda saf hatlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. PEG+NO uygulanan gruplarda GR aktivitesinde dört genotipte de PEG grubuyla kıyasla artışlar meydana gelmiştir ve ticari hat İrtış, saf hat RAR 56 ve RAR 133 genotiplerinde kontrol grubuna göre de artışlar gerçekleşmiştir.

Kuraklık stresi altında yetiştirilen buğday bitkisine NO uygulamasıyla Sultan, Yüreğir ve İkizce fidelerinde GR antioksidan enzim aktivitesinde artışlar meydana gelmiştir (Yayık, 2017). Bitkilerin kuraklık toleransında GR gibi antioksidan enzim sistemlerinin aktivasyonu ile önemli ölçüde artışlar sağlanmıştır (Liu ve ark., 2012). Çarliston biber çeşidine tuz stresi koşullarında uygulanan nitrik oksit GR enzim aktivitesinde önemli oranlarda artışlara neden olmuştur (Kayın, 2020). SNP uygulaması uraklıkta yetişen pirinç (*Oryza sativa* L.)'te GR antioksidan enzim aktivitelerinde artışlara neden olmuştur (Shehab ve ark., 2010). Çalışmamızdan elde ettiğimiz veriler, önceki literatür çalışmalarıyla desteklenmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ayçiçeği genotiplerinin (İrtiş, Zarya, RAR 56 ve RAR 133) uygulanan kuraklık stresine (%12 PEG 6000) karşı gösterdikleri tepkilerinin farklı olduğu belirlenmiştir. Genotipler arasındaki farklılık prolin birikimi, MDA, hidrojen peroksit ve hidroksil radikalleri, elektrolit sızıntısı, SOD, CAT, POX ve GR enzimleri, oksidatif strese karşı bitkinin savunma sistemlerinin ürünü olan antioksidan enzimlerin aktivitelerinin kuraklığa karşı etkin rollerinin bulunduğu belirlenmiştir. Ayçiçeği bitkisinin ticari ve saf hat genotiplerine kuraklık stresi altında (%12 PEG 6000) 100 µM nitrik oksit uygulaması karşısında tepkileri incelenerek ortaya çıkarılmıştır ve kuraklığa toleransta antioksidatif savunma mekanizmalarının etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

PEG kaynaklı kuraklık stresine maruz kalan ticari hat olan İrtiş, Zarya ve saf hat olan RAR 56 ve RAR 133 ayçiçeği genotiplerinin gövde ve kök boyu ile yaş ve kuru ağırlık değerlerinde kontrole göre azalmaların meydana geldiği ve bu azalmaların ticari hatlarda saf hatlara göre daha fazla oranlarda olduğu ortaya konulmuştur. NO uygulaması büyüme parametrelerinde kuraklık stresinden dolayı gerçekleşen azalmaları engellemiştir. Kurak şartlarda nitrik oksit uygulaması yapılan koşullarda gövde ve kök boyu, yaş ve kuru ağırlık değerlerinde kurak koşullara göre artışlar olduğu ve bu artışların ticari hatlarda saf hatlara kıyasla daha fazla oranlarda olduğu belirlenmiştir. Kurak şartlarda NO uygulamasıyla tüm genotiplerin kök kuru ağırlık değerlerinde kontrole göre artışlar gerçekleşmiş ve en yüksek artış ticari hat Zarya genotipinde tespit edilmiştir. Ayçiçeği genotiplerinin bağıl su içeriği değerlerinde kuraklık stresinden kaynaklı azalmalar gerçekleşmiş ve bu azalmalar üzerinde NO uygulamasının iyileştirici etkileri görülmüştür.

Kuraklık stresi altında ayçiçeği genotiplerinin gövde K, Mg, Ca ve Na içeriklerinin azaldığı ve NO uygulaması bu oluşan düşüşleri azalttığı görülmüştür.

Kuraklık stresi nedeniyle en yüksek oranda prolin birikimi ticari hat İrtiş genotipinde meydana gelmiş ve prolin birikiminde oluşan artışlar üzerinde NO'nun azaltıcı etkisinin bulunduğu ortaya konulmuştur. Kuraklık stresinin neden olduğu oksidatif hasara bağlı lipid peroksidasyonunun bir göstergesi olan MDA içeriğinin ayçiçeği genotiplerinde artış gösterdiği ve en fazla artış ticari hat Zarya genotipinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Kuraklık stresi altında NO uygulaması her dört ayçiçeği genotipinin MDA düzeyinde azalmalara sebep olmuştur. Saf hat RAR 133 ve ticari hat

İrtiş genotiplerinin elektrolit sızıntısında kuraklık stresine bağlı oluşan artışlar membranların stabilitesinin bozulduğunu göstermiş ve NO uygulamasının bu artışlar üzerinde iyileştirici etkisinin bulunduğu görülmüştür.

Hidrojen peroksit ve hidroksil radikalleri içeriklerinde kurak koşullara bağlı her dört ayçiçeği genotipinde artışlar meydana gelmiştir ve NO uygulaması radikallerin artışlarını hafifletmiştir.

Ayçiçeği genotiplerinin CAT aktivitelerinde kuraklık stresine bağlı azalışlar tespit edilmiş ve NO uygulamasının bu enzimin aktivitelerini artırdığı görülmüştür. CAT aktivite değerleri PEG+NO uygulamasıyla kontrole göre ticari hatlarda daha fazla artış gösterirken, PEG grubuna göre saf hatlarda daha fazla artış göstermiştir. Kuraklık stresi her dört ayçiçeği genotiplerinin POX enzim aktivitesinde artışlara neden olmuş ve PEG+NO uygulaması kontrol ve kuraklık gruplarına kıyasla POX aktivite değerlerinde daha fazla artışlar sergilemiş ve en yüksek artış saf hat RAR 56 genotipinde belirlenmiştir. SOD enzimi kuraklık stresi altında yüksek aktivite sergilerken, NO uygulamasının bu artışları azalttığı tespit edilmiştir. Ayçiçeği genotiplerinin GR aktivite değerleri kuraklık stresine bağlı azalırken, NO uygulaması bu azalışları engellemiştir.

Kurak koşullarda NO uygulaması ile bitki büyüme parametrelerinde artışlar, POX, CAT, GR antioksidan enzim aktivitelerinde artış olurken SOD enzim aktivitesinde azalmalar, MDA, $\cdot\text{OH}$, H_2O_2 aktivelerinde azalmalar gerçekleşmiştir. Bunların yanında Türkiye’de kuraklığa dayanıklı saf hat RAR 56, hassas saf hat ise RAR 133 iken Kazakistan’da kuraklığa dayanıklı ticari hat İrtiş, hassas ticari hat Zarya genotipleri olarak belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen bulgular sonucunda, ayçiçeği bitkisinin kuraklık koşullarında nitrik oksit uygulaması ile kuraklığa dayanıklılığın arttırılabileceği söylenebilir. Bu alışma su kültürü ortamında yapıldığı için elde edilen sonuçlar ışığında toprak ortamında da çalışmalar yapılıp incelenebilir. Kuraklığa toleransın genetik boyutu araştırılarak, ilgili genlerin tanımlanması ve haritalanması, bu stres faktörlerine tolerans mekanizmasının anlaşılabilmesi için gerekli görülmektedir. Ülkemizde son yıllarda yaşanan iklimsel değişiklikler nedeniyle oluşacak kuraklığın bitki gelişimine olumsuz etkilerini azaltmak için NO uygulamaları önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbasi, T. ve Abbasi, S., 2010, Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization, *Renewable and sustainable energy reviews*, 14 (3), 919-937.
- Ahmad, P., Abdel Latef, A. A., Hashem, A., Abd Allah, E. F., Gucel, S. ve Tran, L.-S. P., 2016, Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea, *Frontiers in plant science*, 7, 347.
- Akladios, S. A. ve Mohamed, H. I., 2017, Physiological role of exogenous nitric oxide in improving performance, yield and some biochemical aspects of sunflower plant under zinc stress, *Acta Biologica Hungarica*, 68 (1), 101-114.
- Akram, N. A., Iqbal, M., Muhammad, A., Ashraf, M., Al-Qurainy, F. ve Shafiq, S., 2018, Aminolevulinic acid and nitric oxide regulate oxidative defense and secondary metabolisms in canola (*Brassica napus* L.) under drought stress, *Protoplasma*, 255 (1), 163-174.
- Aksoy, E., 2008, Effect of drought and salt stresses on the gene expression levels of antioxidant enzymes in lentil (*Lens culinaris* M.) seedlings, *Middle East Technical University*.
- Almeida, G. M., Silva, A. A. d., Batista, P. F., Moura, L. M. d. F., Vital, R. G. ve Costa, A. C., 2020, Hydrogen sulfide, potassium phosphite and zinc sulfate as alleviators of drought stress in sunflower plants, *Ciência e Agrotecnologia*, 44.
- Amini, Z. ve Haddad, R., 2013, Role of photosynthetic pigments and antioxidant enzymes against oxidative stress, *Veterinary Journal*, 81, 383-386.
- Anonim, 2004, Soil Survey Investigation Report United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service No:42, Version 4.0. .
- Antoniou, C., Xenofontos, R., Chatzimichail, G., Christou, A., Kashfi, K. ve Fotopoulos, V., 2020, Exploring the potential of nitric oxide and hydrogen sulfide (NOSH)-releasing synthetic compounds as novel priming agents against drought stress in *Medicago sativa* plants, *Biomolecules*, 10 (1), 120.
- Arora, D. ve Bhatla, S. C., 2017, Melatonin and nitric oxide regulate sunflower seedling growth under salt stress accompanying differential expression of Cu/Zn SOD and Mn SOD, *Free Radical Biology and Medicine*, 106, 315-328.
- Asada, K., Urano, M. ve Takahashi, M. a., 1973, Subcellular location of superoxide dismutase in spinach leaves and preparation and properties of crystalline spinach superoxide dismutase, *European Journal of Biochemistry*, 36 (1), 257-266.
- Asai, S., Ohta, K. ve Yoshioka, H., 2008, MAPK signaling regulates nitric oxide and NADPH oxidase-dependent oxidative bursts in *Nicotiana benthamiana*, *The Plant Cell*, 20 (5), 1390-1406.
- Avşaroğlu, Z. Z., 2016, Kuraklık stresi koşullarında nitrik oksit uygulamalarının yerel ve yabancı karpuz genotiplerinin gelişimi üzerine etkisi/The effects of nitric oxide applications on the growth of local and wild types of watermelon genotypes under drought conditions.
- Aytamka, E., 2005, Glycine max L. Bitkisinde tuz stresi ile nitrik oksit arasındaki ilişki, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Bai, X., Dong, Y., Wang, Q., Xu, L., Kong, J. ve Liu, S., 2015, Effects of lead and nitric oxide on photosynthesis, antioxidative ability, and mineral element content of perennial ryegrass, *Biologia plantarum*, 59 (1), 163-170.
- Bandurska, H., Niedziela, J., Pietrowska-Borek, M., Nuc, K., Chadzinikolau, T. ve Radzikowska, D., 2017, Regulation of proline biosynthesis and resistance to

- drought stress in two barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes of different origin, *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 427-437.
- Bani-Abbas, Z., Zamani, G. ve Syari-Zahan, M., 2012, Effect of drought stress and Zn sulphate spray on yield of sunflower, *Environmental Stress in Crop Sciences*, 4 (2), 165-172.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. ve Teare, I., 1973, Rapid determination of free proline for water-stress studies, *Plant and Soil*, 39 (1), 205-207.
- Beauchamp, C. ve Fridovich, I., 1971, Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels, *Analytical biochemistry*, 44 (1), 276-287.
- Beligni, M. V. ve Lamattina, L., 2000, Nitric oxide stimulates seed germination and de-etiolation, and inhibits hypocotyl elongation, three light-inducible responses in plants, *Planta*, 210 (2), 215-221.
- Bergmeyer, H., 1974, Methoden der enzymatischen analyse. Verlag Chemie, Weinheim.
- Biçer, A., 2016, Nitrik oksit ve putresinin tuzlu koşullarda yetişen mısır bitkisinin gelişimine ve bazı fizyolojik parametreleri üzerine etkisi/Effects of putrescine on growth and some physiological parameters of maize plant grown at saline conditions.
- Bielach, A., Hrtyan, M. ve Tognetti, V. B., 2017, Plants under stress: involvement of auxin and cytokinin, *International journal of molecular sciences*, 18 (7), 1427.
- Bolat, I., Dikilitas, M., Ercisli, S., İkinci, A. ve Tonkaz, T., 2014, The effect of water stress on some morphological, physiological, and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks, *The Scientific World Journal*, 2014.
- Bollmann, A., Koschorreck, M., Meuser, K. ve Conrad, R., 1999, Comparison of two different methods to measure nitric oxide turnover in soils, *Biology and fertility of soils*, 29 (1), 104-110.
- Brodersen, C. R., Roddy, A. B., Wason, J. W. ve McElrone, A. J., 2019, Functional Status of Xylem Through Time, *Annual Review of Plant Biology*, 70 (1), 407-433.
- Canarini, A., Merchant, A. ve Dijkstra, F. A., 2016, Drought effects on *Helianthus annuus* and *Glycine max* metabolites: from phloem to root exudates, *Rhizosphere*, 2, 85-97.
- Çelik, A. ve Eraslan, F., 2015, Effects of exogenous nitric oxide on mineral nutrition and some physiological parameters of maize grown under salinity stress, *Ziraat Fakültesi Dergisi-Süleyman Demirel Üniversitesi*, 10 (1), 55-64.
- Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A. ve Angaji, S. A., 2020, Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress, *Scientia Horticulturae*, 259, 108823.
- Chen, J., Xiong, D.-Y., Wang, W.-H., Hu, W.-J., Simon, M., Xiao, Q., Chen, J., Liu, T.-W., Liu, X. ve Zheng, H.-L., 2013, Nitric oxide mediates root K⁺/Na⁺ balance in a mangrove plant, *Kandelia obovata*, by enhancing the expression of AKT1-type K⁺ channel and Na⁺/H⁺ antiporter under high salinity, *Plos one*, 8 (8), e71543.
- Cooney, R. V., Harwood, P. J., Custer, L. J. ve Franke, A. A., 1994, Light-mediated conversion of nitrogen dioxide to nitric oxide by carotenoids, *Environmental health perspectives*, 102 (5), 460-462.

- Corpas, F. J. ve Barroso, J. B., 2018, Peroxisomal plant metabolism—an update on nitric oxide, Ca²⁺ and the NADPH recycling network, *Journal of Cell Science*, 131 (2), jcs202978.
- da Silva Leite, R., do Nascimento, M. N., Tanan, T. T., Gonçalves Neto, L. P., da Silva Ramos, C. A. ve da Silva, A. L., 2019, Alleviation of water deficit in *Physalis angulata* plants by nitric oxide exogenous donor, *Agricultural Water Management*, 216, 98-104.
- De Sousa, L. F., de Menezes-Silva, P. E., Lourenço, L. L., Galmés, J., Guimarães, A. C., da Silva, A. F., dos Reis Lima, A. P., Henning, L. M., Costa, A. C. ve Silva, F. G., 2020, Improving water use efficiency by changing hydraulic and stomatal characteristics in soybean exposed to drought: the involvement of nitric oxide, *Physiologia plantarum*, 168 (3), 576-589.
- Deveci, D., 2015, Mısır (*Zea mays* L.) bitkilerinde kadmiyumun toksitesisi ile nitrik oksit arasındaki ilişkinin incelenmesi/Corn (*Zea mays* L.) plants nitric oxide toxicity of cadmium in the investigation of the relationship between.
- DeVincentis, A. J., 2020, Scales of Sustainable Agricultural Water Management, *University of California, Davis*.
- Dikici, M., 2014, Kuraklığın Tanımı ve Çevreye Etkisi. International Symposium on Environment and Morality, Akademik Platform. Adıyaman.
- Dionisio-Sese, M. L. ve Tobita, S., 1998, Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress, *Plant Science*, 135 (1), 1-9.
- Eker, S., 2002, Yapraktan Azot Uygulamasının Limon ve Mandarinde Düşük Sıcaklık Stresine Etkisinin Antioksidatif Savunma Mekanizmaları Açısından Araştırılması, *doktora tezi, basılmamış*). ÇÜ Fen Bil. Enst., Adana, 148s.
- Ekinci, M., Ors, S., Yildirim, E., Turan, M., Sahin, U., Dursun, A. ve Kul, R., 2020, Determination of physiological indices and some antioxidant enzymes of chard exposed to nitric oxide under drought stress, *Russian Journal of Plant Physiology*, 67 (4), 740-749.
- Elkelish, A., Ibrahim, M. F., Ashour, H., Bondok, A., Mukherjee, S., Aftab, T., Hikal, M., El-Yazied, A. A., Azab, E. ve Gobouri, A. A., 2021, Exogenous Application of Nitric Oxide Mitigates Water Stress and Reduces Natural Viral Disease Incidence of Tomato Plants Subjected to Deficit Irrigation, *Agronomy*, 11 (1), 87.
- Esim, N., Karaman, A. ve Atıcı, Ö., 2015, Civa Toksisitesi Altındaki Mısır (*Zea mays*) Bitkisinde Çimlenme ve Büyüme Parametreleri Üzerine Nitrik Oksit'in Etkisi. 1, *Ulusal Bitki Fizyolojisi Sempozyumu*, s, 69.
- Fan, H., Li, T., Guan, L., Li, Z., Guo, N., Cai, Y. ve Lin, Y., 2012, Effects of exogenous nitric oxide on antioxidation and DNA methylation of *Dendrobium huoshanense* grown under drought stress, *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 109 (2), 307-314.
- Fancy, N. N., Bahlmann, A. K. ve Loake, G. J., 2017, Nitric oxide function in plant abiotic stress, *Plant, Cell & Environment*, 40 (4), 462-472.
- FAO, 2021a, *Land and Water. Water, Drought, Drought and Agriculture*, <https://www.fao.org/landwater/water/drought/droughtandag/en/>.
- FAO, 2021b, *Land and Water. Water, Drought, Drought and Agriculture*, <https://www.fao.org/landwater/water/drought/droughtandag/en/>
- Faraji, J. ve Sepehri, A., 2020, Exogenous nitric oxide improves the protective effects of TiO₂ nanoparticles on growth, antioxidant system, and photosynthetic

- performance of wheat seedlings under drought stress, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20 (2), 703-714.
- Farrant, J. M., 2000, A comparison of mechanisms of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species, *Plant Ecology*, 151 (1), 29-39.
- Ferrer, M. ve Ros Barceló, A., 1999, Differential effects of nitric oxide on peroxidase and H₂O₂ production by the xylem of *Zinnia elegans*, *Plant, Cell & Environment*, 22 (7), 891-897.
- Filek, M., Walas, S., Mrowiec, H., Rudolphy-Skórska, E., Sieprawska, A. ve Biesaga-Kościelniak, J., 2012, Membrane permeability and micro-and macroelement accumulation in spring wheat cultivars during the short-term effect of salinity- and PEG-induced water stress, *Acta physiologiae plantarum*, 34 (3), 985-995.
- Filipovic, M. R. ve Jovanović, V. M., 2017, More than just an intermediate: hydrogen sulfide signalling in plants, *Journal of Experimental Botany*, 68 (17), 4733-4736.
- Floryszak-Wieczorek, J., Milczarek, G., Arasimowicz, M. ve Ciszewski, A., 2006, Do nitric oxide donors mimic endogenous NO-related response in plants?, *Planta*, 224 (6), 1363-1372.
- Foyer, C. H. ve Halliwell, B., 1976, The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism, *Planta*, 133 (1), 21-25.
- Gan, L., Wu, X. ve Zhong, Y., 2015, Exogenously applied nitric oxide enhances the drought tolerance in hullless barley, *Plant Production Science*, 18 (1), 52-56.
- Garcia-Mata, C., Gay, R., Sokolovski, S., Hills, A., Lamattina, L. ve Blatt, M. R., 2003, Nitric oxide regulates K⁺ and Cl⁻ channels in guard cells through a subset of abscisic acid-evoked signaling pathways, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100 (19), 11116-11121.
- Gray, S. B. ve Brady, S. M., 2016, Plant developmental responses to climate change, *Developmental biology*, 419 (1), 64-77.
- Gunes, A., Pilbeam, D. J., Inal, A. ve Coban, S., 2008, Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39 (13-14), 1885-1903.
- Gupta, K. J., Fernie, A. R., Kaiser, W. M. ve van Dongen, J. T., 2011, On the origins of nitric oxide, *Trends in plant science*, 16 (3), 160-168.
- Gupta, K. J., Kolbert, Z., Durner, J., Lindermayr, C., Corpas, F. J., Brouquisse, R., Barroso, J. B., Umbreen, S., Palma, J. M. ve Hancock, J. T., 2020, Regulating the regulator: nitric oxide control of post-translational modifications, *New Phytologist*, 227 (5), 1319-1325.
- Gürgülü, H. v. S., Umut, 2014, Küresel Isınma Ve İklim Değişikliği İle Meydana Gelen Kuraklık Ve Kuraklığın Tarıma Etkileri, *Asos Yayınevi*, 49.
- Hamurcu, M., Khan, M., Pandey, A., Ozdemir, C., Avsaroglu, Z. Z., Elbasan, F., Omay, A. H. ve Gezgin, S., 2020a, Nitric oxide regulates watermelon (*Citrullus lanatus*) responses to drought stress, *3 Biotech*, 10 (11), 1-14.
- Hamurcu, M., Khan, M. K., Pandey, A., Ozdemir, C., Avsaroglu, Z. Z., Elbasan, F., Omay, A. H. ve Gezgin, S., 2020b, Nitric oxide regulates watermelon (*Citrullus lanatus*) responses to drought stress, *3 Biotech*, 10 (11), 494.
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., Silva, J. A. ve Fujita, M., 2012, Plant response and tolerance to abiotic oxidative stress: antioxidant defense is a key factor, In: *Crop stress and its management: perspectives and strategies*, Eds: Springer, p. 261-315.

- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Hossain, M. S., Anee, T. I., Parvin, K. ve Fujita, M., 2017, Nitric oxide pretreatment enhances antioxidant defense and glyoxalase systems to confer PEG-induced oxidative stress in rapeseed, *Journal of Plant Interactions*, 12 (1), 323-331.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., Fujita, M. ve Fotopoulos, V., 2020, Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator, *Antioxidants*, 9 (8), 681.
- Herzog, V. ve Fahimi, H. D., 1973, A new sensitive colorimetric assay for peroxidase using 3, 3'-diaminobenzidine as hydrogen donor, *Analytical biochemistry*, 55 (2), 554-562.
- Huang, D., Huo, J., Zhang, J., Wang, C., Wang, B., Fang, H. ve Liao, W., 2019, Protein S-nitrosylation in programmed cell death in plants, *Cellular and Molecular Life Sciences*, 76 (10), 1877-1887.
- Hussain, H. A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S. A., Men, S. ve Wang, L., 2018, Chilling and Drought Stresses in Crop Plants: Implications, Cross Talk, and Potential Management Opportunities, *Front Plant Sci*, 9, 393.
- Hussain, M. M., Rauf, S., Riaz, M. A., Al-Khayri, J. M. ve Monneveux, P., 2017, Determination of drought tolerance related traits in *Helianthus argophyllus*, *Helianthus annuus*, and their hybrids, *Breeding science*, 16095.
- Jäger, K., Fábíán, A., Eitel, G., Szabó, L., Deák, C., Barnabás, B. ve Papp, I., 2014, A morpho-physiological approach differentiates bread wheat cultivars of contrasting tolerance under cyclic water stress, *Journal of plant physiology*, 171 (14), 1256-1266.
- Jaleel, C. A., Gopi, R., Sankar, B., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sridharan, R. ve Panneerselvam, R., 2007, Studies on germination, seedling vigour, lipid peroxidation and proline metabolism in *Catharanthus roseus* seedlings under salt stress, *South African Journal of Botany*, 73 (2), 190-195.
- Jday, A., Rejeb, K. B., Slama, I., Saadallah, K., Bordenave, M., Planchais, S., Savouré, A. ve Abdelly, C., 2016, Effects of exogenous nitric oxide on growth, proline accumulation and antioxidant capacity in *Cakile maritima* seedlings subjected to water deficit stress, *Functional Plant Biology*, 43 (10), 939-948.
- Kadıoğlu, A., 2011, Bitki fizyolojisi, *Trabzon: Lokman Yayın*, 453.
- Kalefetoğlu, T. ve Ekmekçi, Y., 2010, BİTKİLERDE KURAKLIK STRESİNİN ETKİLERİ VE DAYANIKLILIK MEKANİZMALARI (Derleme), *Gazi University Journal of Science*, 18 (4), 723-740.
- Katam, R., Sakata, K., Suravajhala, P., Pechan, T., Kambiranda, D. M., Naik, K. S., Guo, B. ve Basha, S. M., 2016, Comparative leaf proteomics of drought-tolerant and-susceptible peanut in response to water stress, *Journal of proteomics*, 143, 209-226.
- Kavuncu, M., 2019, Kuraklık Stresi Koşullarında Uygulanan Nitrik Oksitin Buğday Genotiplerinin Gelişimi Üzerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Konya*.
- Kaya, Y., 2005, Determining combining ability in sunflower (*Helianthus annuus* L.), *Turkish journal of agriculture and forestry*, 29 (4), 243-250.
- Kayın, G. B., 2020, Nitrik Oksit Uygulamasının Biber Bitkisinde (*Capsicum Annuum* L.) Kimi Stres Faktörleri Üzerine Etkisi, *Bursa Uludag University (Turkey)*.
- Kazemi, N., Khavari-Nejad, R. A., Fahimi, H., Saadatmand, S. ve Nejad-Sattari, T., 2010, Effects of exogenous salicylic acid and nitric oxide on lipid peroxidation

- and antioxidant enzyme activities in leaves of *Brassica napus* L. under nickel stress, *Scientia Horticulturae*, 126 (3), 402-407.
- Ke, X., Cheng, Z., Ma, W. ve Gong, M., 2013, Nitric oxide enhances osmoregulation of tobacco (*Nicotiana tobacum* L.) cultured cells under phenylethanoid glycosides (PEG) 6000 stress by regulating proline metabolism, *African Journal of Biotechnology*, 12 (11), 1257-1266.
- Kerkütlüoğlu, E., 2007, Mercimek (*Lens culinaris* Medik.) tohumlarının çimlenmesi ve erken fide büyümesi üzerine nitrik oksit (NO) etkileri/The effects of nitric oxide (NO) on the germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) seeds and early seedling growth.
- Khan, G. N., Kim, E. J., Shin, T. S. ve Lee, S. H., 2017, Heterogeneous cell types in single-cell-derived clones of MCF7 and MDA-MB-231 cells, *Anticancer Research*, 37 (5), 2343-2354.
- Khoyerdı, F. F., Shamshiri, M. H. ve Estaji, A., 2016, Changes in some physiological and osmotic parameters of several pistachio genotypes under drought stress, *Scientia Horticulturae*, 198, 44-51.
- Kim, J. W. ve Minamikawa, T., 1997, Hydroxyl radical-scavenging effects of spices and scavengers from brown mustard (*Brassica nigra*), *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 61 (1), 118-123.
- Kireççi, O. A. ve Yürekli, F., 2019, Ayçiçeği Bitkisi Yapraklarında Tuz Stresi, Nitrik Oksit ve Hormon Uygulamalarının Antioksidan Savunma Sistemi Üzerine Etkileri, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22 (3), 360-369.
- Klepper, L., 1979, Nitric oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO₂) emissions from herbicide-treated soybean plants, *Atmospheric Environment (1967)*, 13 (4), 537-542.
- Koshland, D. E., Jr., 1992, The molecule of the year, *Science*, 258 (5090), 1861.
- Krasuska, U., Ciacka, K. ve Gniazdowska, A., 2017, Nitric oxide-polyamines cross-talk during dormancy release and germination of apple embryos, *Nitric Oxide*, 68, 38-50.
- Kuşvuran, Ş., Kıran, S., Özkay, F. ve Ellialtıoğlu, Ş., 2016, Domates, patlıcan ve kavun genotiplerinin kuraklığa dayanım durumlarını belirlemeye yönelik olarak incelenen özellikler arasındaki ilişkiler.
- Lancaster, J., 1997, A tutorial on the diffusibility and reactivity of free nitric oxide, *Nitric oxide*, 1 (1), 18-30.
- Lau, S.-E., Hamdan, M. F., Pua, T.-L., Saidi, N. B. ve Tan, B. C., 2021, Plant nitric oxide signaling under drought stress, *Plants*, 10 (2), 360.
- León, J. ve Costa-Broseta, Á., 2020, Present knowledge and controversies, deficiencies, and misconceptions on nitric oxide synthesis, sensing, and signaling in plants, *Plant, Cell & Environment*, 43 (1), 1-15.
- Leshem, Y. ve Haramaty, E., 1996, Plant aging: the emission of NO and ethylene and effect of NO-releasing compounds on growth of pea (*Pisum sativum*) foliage, *J Plant Physiol*, 148 (3-4), 258-263.
- Leshem, Y. a. Y., 1996, Nitric oxide in biological systems, *Plant Growth Regulation*, 18 (3), 155-159.
- Liang, B., Ma, C., Zhang, Z., Wei, Z., Gao, T., Zhao, Q., Ma, F. ve Li, C., 2018, Long-term exogenous application of melatonin improves nutrient uptake fluxes in apple plants under moderate drought stress, *Environmental and Experimental Botany*, 155, 650-661.

- Lindermayr, C. ve Durner, J., 2015, Interplay of reactive oxygen species and nitric oxide: nitric oxide coordinates reactive oxygen species homeostasis, *Plant Physiology*, 167 (4), 1209-1210.
- Liu, M., Liu, X. X., He, X. L., Liu, L. J., Wu, H., Tang, C. X., Zhang, Y. S. ve Jin, C. W., 2017, Ethylene and nitric oxide interact to regulate the magnesium deficiency-induced root hair development in Arabidopsis, *New Phytologist*, 213 (3), 1242-1256.
- Liu, N., Xu, Y., Hossain, S., Huang, N., Coursolle, D., Gralnick, J. A. ve Boon, E. M., 2012, Nitric oxide regulation of cyclic di-GMP synthesis and hydrolysis in *Shewanella woodyi*, *Biochemistry*, 51 (10), 2087-2099.
- Liu, S., Wang, X., Wang, H., Xin, H., Yang, X., Yan, J., Li, J., Tran, L.-S. P., Shinozaki, K. ve Yamaguchi-Shinozaki, K., 2013, Genome-wide analysis of ZmDREB genes and their association with natural variation in drought tolerance at seedling stage of *Zea mays* L., *PLoS genetics*, 9 (9), e1003790.
- Majeed, S., Nawaz, F., Naeem, M. ve Ashraf, M. Y., 2018, Effect of exogenous nitric oxide on sulfur and nitrate assimilation pathway enzymes in maize (*Zea mays* L.) under drought stress, *Acta Physiologiae Plantarum*, 40 (12), 1-14.
- Majeed, S., Nawaz, F., Naeem, M., Ashraf, M. Y., Ejaz, S., Ahmad, K. S., Tauseef, S., Farid, G., Khalid, I. ve Mehmood, K., 2020, Nitric oxide regulates water status and associated enzymatic pathways to inhibit nutrients imbalance in maize (*Zea mays* L.) under drought stress, *Plant Physiology and Biochemistry*, 155, 147-160.
- Melchiorre, M., Robert, G., Trippi, V., Racca, R. ve Lascano, H. R., 2009, Superoxide dismutase and glutathione reductase overexpression in wheat protoplast: photooxidative stress tolerance and changes in cellular redox state, *Plant growth regulation*, 57 (1), 57-68.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, M., 2021, Kuraklık İzleme Yöntemleri ve Çeşitleri. Türkiye Cumhuriyeti, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Analizler, Kuraklık Analizi, Tarımsal Kuraklık.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, M., 2021b, Kuraklık ve Sınıflandırılması. T.C., Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Kuraklık Analizi, Kuraklık İzleme Yöntemleri. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklik-analizi>.
- Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S. ve Mittler, R., 2010, Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses, *Plant, cell & environment*, 33 (4), 453-467.
- Moussa, H. R. ve Abdel-Aziz, S. M., 2008, Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress, *Australian Journal of Crop Science*, 1 (1), 31-36.
- Mur, L. A. J., Mandon, J., Persijn, S., Cristescu, S. M., Moshkov, I. E., Novikova, G. V., Hall, M. A., Harren, F. J. M., Hebelstrup, K. H. ve Gupta, K. J., 2013, Nitric oxide in plants: an assessment of the current state of knowledge, *AoB PLANTS*, 5.
- Nabi, R. B. S., Tayade, R., Hussain, A., Kulkarni, K. P., Imran, Q. M., Mun, B.-G. ve Yun, B.-W., 2019, Nitric oxide regulates plant responses to drought, salinity, and heavy metal stress, *Environmental and Experimental Botany*, 161, 120-133.
- Naghashzadeh, M., 2014, Response of relative water content and cell membrane stability to mycorrhizal biofertilizer in maize, *Electronic Journal of Biology*, 10 (3), 68-72.

- Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Alam, M. M. ve Fujita, M., 2015, Exogenous glutathione confers high temperature stress tolerance in mung bean (*Vigna radiata* L.) by modulating antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system, *Environmental and Experimental Botany*, 112, 44-54.
- Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Alam, M., Rahman, A., Mahmud, J.-A., Suzuki, T. ve Fujita, M., 2017, Insights into spermine-induced combined high temperature and drought tolerance in mung bean: osmoregulation and roles of antioxidant and glyoxalase system, *Protoplasma*, 254 (1), 445-460.
- Nasir, N. N. M., Ho, C. L., Lamasudin, D. U. ve Saidi, N. B., 2020, Nitric oxide improves tolerance to *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Tropical Race 4 in banana, *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 111, 101503.
- Neill, S., Barros, R., Bright, J., Desikan, R., Hancock, J., Harrison, J., Morris, P., Ribeiro, D. ve Wilson, I., 2008, Nitric oxide, stomatal closure, and abiotic stress, *Journal of experimental botany*, 59 (2), 165-176.
- O'Connell, E., 2017, Towards Adaptation of Water Resource Systems to Climatic and Socio-Economic Change, *Water Resources Management*, 31 (10), 2965-2984.
- Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Roldán, A. ve Azcón, R., 2015, Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: effectiveness of autochthonous or allochthonous strains, *Journal of plant physiology*, 174, 87-96.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K. ve Tran, L.-S. P., 2014, Response of plants to water stress, *Frontiers in plant science*, 5, 86.
- Ozfidan-Konakci, C., Yildiztugay, E., Elbasan, F., Kucukoduk, M. ve Turkan, I., 2020, Hydrogen sulfide (H₂S) and nitric oxide (NO) alleviate cobalt toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.) by modulating photosynthesis, chloroplastic redox and antioxidant capacity, *Journal of hazardous materials*, 388, 122061.
- Passioura, J. ve Angus, J., 2010, Improving productivity of crops in water-limited environments, *Advances in agronomy*, 106, 37-75.
- Pedroso, M. C., Magalhaes, J. ve Durzan, D., 2000, A nitric oxide burst precedes apoptosis in angiosperm and gymnosperm callus cells and foliar tissues, *Journal of Experimental Botany*, 51 (347), 1027-1036.
- Pissolato, M. D., Silveira, N. M., Prata, P. J. C., Machado, E. C., Seabra, A. B., Pelegrino, M. T., Sodek, L. ve Ribeiro, R. V., 2020, Enhanced nitric oxide synthesis through nitrate supply improves drought tolerance of sugarcane plants, *Frontiers in plant science*, 11, 970.
- Pradhan, N., Singh, P., Dwivedi, P. ve Pandey, D. K., 2020, Evaluation of sodium nitroprusside and putrescine on polyethylene glycol induced drought stress in *Stevia rebaudiana* Bertoni under in vitro condition, *Industrial Crops and Products*, 154, 112754.
- Qamar, R., Ghias, M., Hussain, F., Habib, S., Razzaq, M. K., Aslam, M. ve Habib, I., 2018, Effect of drought on morpho-physiological traits of sunflower (*Helianthus annuus* L) hybrids and their parental inbred lines, *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 31 (2).
- Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A. ve Najafi, F., 2011, Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes, *Acta Biologica Cracoviensia s. Botanica*.
- Rao, K. M. ve Sresty, T., 2000, Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses, *Plant science*, 157 (1), 113-128.

- Ren, Y., Wang, W., He, J., Zhang, L., Wei, Y. ve Yang, M., 2020, Nitric oxide alleviates salt stress in seed germination and early seedling growth of pakchoi (*Brassica chinensis* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters, *Ecotoxicology and environmental safety*, 187, 109785.
- Rezayian, M., Ebrahimzadeh, H. ve Niknam, V., 2020, Nitric Oxide Stimulates Antioxidant System and Osmotic Adjustment in Soybean Under Drought Stress, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20 (3), 1122-1132.
- Ribeiro Jr, E. A., Cunha, F. Q., Tamashiro, W. M. ve Martins, I. S., 1999, Growth phase-dependent subcellular localization of nitric oxide synthase in maize cells, *FEBS letters*, 445 (2-3), 283-286.
- Romero-Puertas, M. ve Delledonne, M., 2003, Nitric Oxide Signaling in Plant-Pathogen Interactions, *IUBMB life*, 55 (10-11), 579-583.
- Sahay, S., Khan, E. ve Gupta, M., 2019, Nitric oxide and abscisic acid protects against PEG-induced drought stress differentially in Brassica genotypes by combining the role of stress modulators, markers and antioxidants, *Nitric Oxide*, 89, 81-92.
- Sahay, S., De La Cruz Torres, E., Robledo-Arratia, L. ve Gupta, M., 2020, Photosynthetic activity and RAPD profile of polyethylene glycol treated *B. juncea* L. under nitric oxide and abscisic acid application, *Journal of Biotechnology*, 313, 29-38.
- Sarazin, V., Duclercq, J., Guillot, X., Sangwan, B. ve Sangwan, R. S., 2017, Water-stressed sunflower transcriptome analysis revealed important molecular markers involved in drought stress response and tolerance, *Environmental and Experimental Botany*, 142, 45-53.
- Selçukcan, Ç., 2005, Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Bitkisinde Senesens ile Nitrik Oksit arasındaki İlişkinin İncelenmesi, İstanbul Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı Botanik Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*, 54s.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H. ve Battaglia, M. L., 2021, Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects, *Plants*, 10 (2), 259.
- Shakeel, A. A., Xiao-yu, X., Long-chang, W., Muhammad, F. S., Chen, M. ve Wang, L., 2011, Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress, *African journal of agricultural research*, 6 (9), 2026-2032.
- Shan, C., Zhang, S. ve Ou, X., 2018, The roles of H₂S and H₂O₂ in regulating AsA-GSH cycle in the leaves of wheat seedlings under drought stress, *Protoplasma*, 255 (4), 1257-1262.
- Shao, Z.-H., Sharp, W. W., Wojcik, K. R., Li, C.-Q., Han, M., Chang, W.-T., Ramachandran, S., Li, J., Hamann, K. J. ve Vanden Hoek, T. L., 2010, Therapeutic hypothermia cardioprotection via Akt-and nitric oxide-mediated attenuation of mitochondrial oxidants, *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 298 (6), H2164-H2173.
- Shehab, G. G., AHMED, O. K. ve El-Beltagi, H. S., 2010, Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38 (1), 139-148.
- Shehzad, M. A., Maqsood, M., Nawaz, F., Abbas, T. ve Yasin, S., 2018, Boron-induced improvement in physiological, biochemical and growth attributes in sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to terminal drought stress, *Journal of plant nutrition*, 41 (8), 943-955.

- Shehzad, M. A., Nawaz, F., Ahmad, F., Ahmad, N. ve Masood, S., 2020, Protective effect of potassium and chitosan supply on growth, physiological processes and antioxidative machinery in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress, *Ecotoxicology and environmental safety*, 187, 109841.
- Shi, H., Ye, T. ve Chan, Z., 2014, Nitric oxide-activated hydrogen sulfide is essential for cadmium stress response in bermudagrass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), *Plant Physiology and Biochemistry*, 74, 99-107.
- Shivaraj, S. M., Vats, S., Bhat, J. A., Dhakte, P., Goyal, V., Khatri, P., Kumawat, S., Singh, A., Prasad, M. ve Sonah, H., 2020, Nitric oxide and hydrogen sulfide crosstalk during heavy metal stress in plants, *Physiologia plantarum*, 168 (2), 437-455.
- Silveira, N. M., Seabra, A. B., Marcos, F. C., Pelegrino, M. T., Machado, E. C. ve Ribeiro, R. V., 2019, Encapsulation of S-nitrosoglutathione into chitosan nanoparticles improves drought tolerance of sugarcane plants, *Nitric Oxide*, 84, 38-44.
- Singh, I. ve Shah, K., 2014, Exogenous application of methyl jasmonate lowers the effect of cadmium-induced oxidative injury in rice seedlings, *Phytochemistry*, 108, 57-66.
- Sohag, A. A. M., Tahjib-Ul-Arif, M., Afrin, S., Khan, M. K., Hannan, M. A., Skalicky, M., Mortuza, M. G., Brestic, M., Hossain, M. A. ve Murata, Y., 2020, Insights into nitric oxide-mediated water balance, antioxidant defence and mineral homeostasis in rice (*Oryza sativa* L.) under chilling stress, *Nitric Oxide*, 100, 7-16.
- Song, W., Xue, R., Song, Y., Bi, Y., Liang, Z., Meng, L., Dong, C., Wang, C., Liu, G. ve Dong, J., 2018, Differential response of first-order lateral root elongation to low potassium involves nitric oxide in two tobacco cultivars, *Journal of Plant Growth Regulation*, 37 (1), 114-127.
- Srivastava, B. G., Yadav, P. K., Deo, S., Singh, P. K. ve Filippov, A., 2014, Hydrodynamic permeability of a membrane composed of porous spherical particles in the presence of uniform magnetic field, *Colloid Journal*, 76 (6), 725-738.
- Stoehr, C. ve Ullrich, W. R., 2002, Generation and possible roles of NO in plant roots and their apoplasmic space, *Journal of Experimental Botany*, 53 (379), 2293-2303.
- Sudhakar, C., Lakshmi, A. ve Giridarakumar, S., 2001, Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity, *Plant science*, 161 (3), 613-619.
- Sun, B., Jing, Y., Chen, K., Song, L., Chen, F. ve Zhang, L., 2007, Protective effect of nitric oxide on iron deficiency-induced oxidative stress in maize (*Zea mays*), *Journal of plant physiology*, 164 (5), 536-543.
- Tabay, D., Akar, R., Aksakal, Ö. ve Esringü, A., 2015, Marul Fidelerinde Tuz Stresinin Neden Olduğu Oksidatif Stresin Yatıştırılmasında Eksojen Nitrik Oksidin Rolü. 1, *Ulusal Bitki Fizyolojisi Sempozyumu*, s, 100.
- Talebi, R., Ensafi, M. H., Baghebani, N., Karami, E. ve Mohammadi, K., 2013, Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes to drought stress, *Environmental and Experimental Biology*, 11 (1), 9-15.
- Tan, J., Wang, C., Xiang, B., Han, R. ve Guo, Z., 2013, Hydrogen peroxide and nitric oxide mediated cold-and dehydration-induced myo-inositol phosphate synthase that confers multiple resistances to abiotic stresses, *Plant, Cell & Environment*, 36 (2), 288-299.

- Tekin, H. G., 2019, Nitrik oksit uygulamasının sıcaklık stresi altında yetişen soya bitkisinin büyüme ve gelişmesi üzerine etkisi/The effect of nitric oxide application on the growth and development of growing soya plants under the temperature stress.
- Terzi, R., Kadioglu, A., Kalaycioglu, E. ve Saglam, A., 2014, Hydrogen peroxide pretreatment induces osmotic stress tolerance by influencing osmolyte and abscisic acid levels in maize leaves, *Journal of Plant Interactions*, 9 (1), 559-565.
- , 1994. United Nations Convention To Combat Desertification. United Nations. p.
- Vassilevska-Ivanova, R., Shtereva, L., Kraptchev, B. ve Karceva, T., 2014, Response of sunflower (*Helianthus annuus* L) genotypes to PEG-mediated water stress, *Open Life Sciences*, 9 (12), 1206-1214.
- Veitch, N. C., 2004, Horseradish peroxidase: a modern view of a classic enzyme, *Phytochemistry*, 65 (3), 249-259.
- Velikova, V., Yordanov, I. ve Edreva, A., 2000, Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines, *Plant science*, 151 (1), 59-66.
- Verma, G., Srivastava, D., Tiwari, P. ve Chakrabarty, D., 2019, ROS modulation in crop plants under drought stress, *Reactive oxygen, nitrogen and sulfur species in plants: production, metabolism, signaling and defense mechanisms*, 311-336.
- Wang, L., Yang, L., Yang, F., Li, X., Song, Y., Wang, X. ve Hu, X., 2010, Involvements of H₂O₂ and metallothionein in NO-mediated tomato tolerance to copper toxicity, *Journal of plant physiology*, 167 (15), 1298-1306.
- Wildt, J., Kley, D., Rockel, A., Rockel, P. ve Segschneider, H., 1997, Emission of NO from several higher plant species, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102 (D5), 5919-5927.
- Xia, N., Förstermann, U. ve Li, H., 2014, Resveratrol and endothelial nitric oxide, *Molecules*, 19 (10), 16102-16121.
- Yaşar, F., Kuşvuran, Ş. ve Ellialtıoğlu, Ş., 2012, Tuzluluk ve kuraklık stresi çalışmalarında antioksidant enzim aktiviteleri ile dayanıklılık arasındaki ilişkilerin incelenmesi. 9, *Ulusal Sebze Tarımı Sempozyumu*, 12 (14), 472-477.
- Yatsuk, I., 2018, Scientific research on monitoring and investigation of agricultural land of Ukraine (according to results of X round 2011-2015), *Institute of Soils Protection of Ukraine, Kyiv*, p.6.
- Yayık, N., 2017, Buğday (*Triticum aestivum* L.) Fidelerinde Kuraklık-NO (Nitrik Oksit) Etkileşimlerinde Çalışan Genlerin İfadesi ve Antioksidan Enzim Aktivitesi, *Yüksek Lisans tezi, Hatay*.
- Yürekli, F., 2015, Kuraklık Stresi Uygulanan Nohut bitkisinde Absisik Asit (ABA) ve Nitrik Oksit (NO)'in Etkilerinin Araştırılması, 1.Ulusal Bitki Fizyolojisi Sempozyumu, 01-04 Eylül Erzurum. .
- Zandalinas, S. I., Balfagón, D., Arbona, V. ve Gómez-Cadenas, A., 2017, Modulation of antioxidant defense system is associated with combined drought and heat stress tolerance in citrus, *Frontiers in Plant Science*, 8, 953.
- Zegaoui, Z., Planchais, S., Cabassa, C., Djebbar, R., Belbachir, O. A. ve Carol, P., 2017, Variation in relative water content, proline accumulation and stress gene expression in two cowpea landraces under drought, *Journal of Plant Physiology*, 218, 26-34.
- Zhang, A., Jiang, M., Zhang, J., Ding, H., Xu, S., Hu, X. ve Tan, M., 2007, Nitric oxide induced by hydrogen peroxide mediates abscisic acid-induced activation of the

- mitogen-activated protein kinase cascade involved in antioxidant defense in maize leaves, *New Phytologist*, 175 (1), 36-50.
- Zhang, J., Wang, X., Vikash, V., Ye, Q., Wu, D., Liu, Y. ve Dong, W., 2016, ROS and ROS-mediated cellular signaling, *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2016.
- Zhao, Y., Lim, J., Xu, J., Yu, J. H. ve Zheng, W., 2020, Nitric oxide as a developmental and metabolic signal in filamentous fungi, *Molecular Microbiology*, 113 (5), 872-882.
- Zuccarelli, R., Rodríguez-Ruiz, M., Lopes-Oliveira, P. J., Pascoal, G. B., Andrade, S. C. S., Furlan, C. M., Purgatto, E., Palma, J. M., Corpas, F. J., Rossi, M. ve Freschi, L., 2020, Multifaceted roles of nitric oxide in tomato fruit ripening: NO-induced metabolic rewiring and consequences for fruit quality traits, *Journal of Experimental Botany*, 72 (3), 941-958.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aidana SUGİRBEKOVA
Uyruğu : Kazak

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Kulan, T.Ryskulov, Zhambyl	2014
Üniversite	: Kazak National Agrarian University, Almaty	2019
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Konya	2022
Doktora	:	

YABANCI DİLLER

İngiliz, Türkçe, Rusça, Kazakça (ana dil)